

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Departamento de Ecología**



**TESIS DOCTORAL**

**Contaminación y toxicidad de las aguas residuales de las  
rallanderías del Norte del Cauca, Colombia**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Helberth Sarria Núñez**

**Directores**

**José Vicente Rovira San Roque  
Alejandro Fernández Quintero**

**Madrid, 2011**

ISBN: 978-84-615-8906-7

© Helberth Sarria Núñez, 2011

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**Facultad de Biología**

**Departamento de Ecología**



**Contaminación y toxicidad de las aguas residuales  
de las rallanderías del Norte del Cauca, Colombia.**

*Tesis Doctoral*

Helberth Sarria Núñez

Madrid 2011

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**Facultad de Biología**

**Departamento de Ecología**



**Contaminación y toxicidad de las aguas residuales  
de las rallanderías del Norte del Cauca, Colombia.**

Memoria para obtener el Título de Doctor en Biología por la Universidad  
Complutense de Madrid

Madrid, Noviembre de 2011

Presentada por:

**Fdo: Helberth Sarria Núñez**

V° B° de los Directores de la Tesis

Fdo: José Vicente Rovira Sanroque Fdo.: Alejandro Fernández Quintero  
Universidad Complutense Universidad del Valle

*A la memoria de:*

*Mis abuelos: Aniceto, Tulia y Ernestina.*

*Mi padre: Álvaro León.*

*Mi hermano: Milton*

*Mis tíos: José Vicente, Henry y Alcides.*

*Mis primos: Saulo y Campo Elías*

*Mis compañeros de lucha: Milton y Gandhi.*

*Mi maestra: Esperanza*

## AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimientos a mi director de tesis doctor José Vicente Rovira S. porque gracias a sus correcciones, su agudeza crítica, consejos, su dominio y perseverancia con la informática que unidos a la comprensión y solidaridad de su familia (su esposa Teresa y sus hijos Carolina y Martín) por las muchísimas horas que tanto en su casa como en la universidad dedicó para hacer posible la terminación de esta tesis; tengo una deuda muy grande con ellos y espero que en un futuro no lejano pueda devolver tanta generosidad y sacrificio.

A la Universidad Complutense por permitirme matricularme en los cursos de doctorado, en la Facultad de Ciencias Biológicas a su personal de la Biblioteca por facilitarme y enviarme toda la bibliografía que les pedí, en la Secretaría por la comprensión y colaboración en todos los trámites (Antonio, Rosa y al vicedecano Alfredo) y en especial al Departamento de Ecología por darme un espacio, las ideas para el diseño de la tesis, los conocimientos recibidos por todos sus profesores (Esperanza Martínez-Conde, Bermúdez de Castro, Pineda, Serrano, Rovira, Avilés, Acosta, Barandica) y en la parte administrativa por facilitarme insumos, equipos, trámites y asesoría de documentación, etc. (Francisco, Tomás, Eduardo, Sara y Epifanio). En el equipo de trabajo de investigación del doctor Rovira a mi compañero y doctor Luis Lassaletta por la amistad, comprensión, orientación estadística y al compañero y futuro doctor Héctor García por su ayuda en la bibliografía. En el Departamento de Zoología a la doctora Ana García Moreno por ayudarme en la determinación de dos anélidos

A la Universidad Autónoma de Madrid y en especial a su Departamento de Ecología por permitirme matricular asignaturas de doctorado que ayudaron a complementar mis conocimientos en especial a la doctora Carmen Casado y Salvador Molla.

Debo agradecer de manera especial a mí primo Elías Ramos Giraldo por su valiosa colaboración y orientación con los ordenadores porque me permitió recuperar archivos, insertar programas, antivirus y corregir detalles del documento (labor que también complementó mucho mi director).

La colaboración, comprensión y solidaridad por parte de mis hijos (Camilo Ernesto y Álvaro José) y parientes en España (Alicia Muñoz Vergara Vda. de Giraldo, sus hijos y nietos) ha sido fundamental porque me animaron, me dieron ayuda económica y cabida en sus hogares (igualmente las familias Sarria Giraldo, Figueroa Sarria, Cifuentes Vergara, Urzuga Dominguez y Muñoz Chávez). A mi amigo, compañero y odontólogo Álvaro Rincón Velandia y a la compañera Gloria Zapa por ser solidarios, buenos samaritanos, cuidar de mi dentadura y de la de mis parientes y amigos.

En Colombia debo agradecer a la Universidad del Cauca en la facultad de Biología a los profesores Hilder Zamora, Guillermo Vásquez y Leónidas Zambrano en la identificación de los macroinvertebrados y vegetación de la zona de estudio y a los ingenieros Ambientales Uriel Ernesto y Juan David Vergara por la bibliografía e información enviada. En la Universidad del Valle en la facultad de Ingeniería al doctor Alejandro Fernández Quintero por ser mi codirector, asesorarme y ayudarme en el CINARA para los análisis de las aguas que no se pudieron realizar en los laboratorios de la CRC. En el CIAT en el departamento de Utilización de Yuca (hoy Agroempresas) al doctor Rupert Best, Verónica Gottrel, Teresa Sánchez y Carlos Chilito en el formulario y realización de la encuesta, en la determinación del cianuro y materia seca en las raíces de yuca. En CRC a su director por aprobar la ayuda económica para la realización de la tesis y permitir que en el Departamento de Información Geográfica se realizara la ubicación de las rallanderías y en sus laboratorios de aguas se realizaran los análisis de aguas residuales de las rallanderías y de las quebradas con la colaboración del biólogo Huberto

Ortiz Ordoñez. Al municipio de Santander de Quilichao por la ayuda económica para los insumos, transporte de equipos y de las muestras a los laboratorios del CIAT, CRC y CINARA. A todo el gremio de rallanderos por permitirme entrar en sus instalaciones, recoger información para la encuesta y muy especialmente en las 12 rallanderías donde se hicieron las mediciones y evaluaciones de los equipos y del proceso. Un agradecimiento muy especial a mi prima Gladys Vergara, su esposo Ángel y su hija Sandra Paola (Q:E.P:D) en Popayán, por darme todas las comodidades en su casa durante la realización de los análisis de aguas en los laboratorios de CRC y a los compañeros mondomeños William Cifuentes (con la venia de Corpotunia), Enóc Cerón, Oscar Castillo y Jesús Fernández por la valiosa ayuda en la realización de la encuesta, mediciones en las rallanderías y en las quebradas, en las capturas y depósito en los frascos de los macroinvertebrados y en las mediciones de las pendientes de la zona.

Finalmente quiero agradecer muy sinceramente a mi madre María Teresa, a mis hermanos: Dorian, Milton, Sandra, Mauricio, Leonardo y Galo; a mi sobrina Lina y a su padre mi cuñado Fredy porque me ayudaron al lavado, etiquetado de los frascos, depositar los macroinvertebrados en los frascos, a trasladar las muestras de raíces de yuca de las rallanderías a los laboratorios del CIAT y por darme toda la colaboración y su apoyo incondicional

# ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>I</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>SUMMARY AND RECOMMENDATIONS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 EL PROCESO.....	4
1.1.1 <i>MAQUINARIA, INFRAESTRUCTURAS Y FORMA DE OPERAR</i> .....	7
1.1.2 <i>LA ECONOMÍA DEL ALMIDÓN DE YUCA</i> .....	15
1.1.3 <i>LAS AGUAS RESIDUALES DE LA AGROINDUSTRIA Y LA PRESENCIA NATURAL DE           CIANOGLUCÓSIDOS EN LA YUCA</i> .....	18
1.2 GENERALIDADES SOBRE EL CIANURO (CN).....	24
1.3 ANTECEDENTES DE LA LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL .....	27
1.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA Y BIOINDICACIÓN.....	29
1.4.1 <i>MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS (MIB)</i> .....	30
1.4.2 <i>MIB como indicadores</i> .....	31
1.4.3 <i>Índice BMWP para Colombia</i> .....	33
1.4.4 <i>Principales grupos de MIB en la zona de estudio</i> .....	34
<b>2. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS</b> .....	<b>41</b>
2.1 LEGISLACIÓN AMBIENTAL INTERNACIONAL Y COLOMBIANA .....	41
2.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	43
2.3 OBJETIVOS.....	44
<b>3. EL TERRITORIO</b> .....	<b>45</b>
3.1 CLIMA.....	50
3.2 GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS.....	55

<b>4.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>59</b>
4.1	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS .....	59
4.1.1	TEMPERATURA DEL AGUA (T) .....	59
4.1.2	pH .....	59
4.1.3	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) .....	60
4.1.4	OXÍGENO DISUELTO (OD) Y PORCENTAJE DE SATURACIÓN (SATOD) .....	60
4.1.5	SÓLIDOS TOTALES (ST) .....	60
4.1.6	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) .....	61
4.1.7	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO <sub>5</sub> ) .....	61
4.1.8	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) .....	62
4.1.9	CIANURO (CN <sup>-</sup> ) .....	62
4.1.10	NITRATO (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	62
4.1.11	NITRITO (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	63
4.1.12	NITRÓGENO AMÓNICO (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	63
4.1.13	CARGA CONTAMINANTE (CC) .....	63
4.2	EXPERIMENTO A: EL CASO DE LAS RALLANDERIAS DE YUCA EN SANTANDER DE QUILICHAO .....	64
4.2.1	OBJETIVOS .....	64
4.2.2	ÁREA DE ESTUDIO: LA POBLACIÓN DE RALLANDERIAS DE SANTANDER DE QUILICHAO .....	64
4.2.3	TOMA DE MUESTRAS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS RALLANDERÍAS .....	65
4.2.4	DETERMINACIÓN DE CIANOGENÍCOS EN RAÍCES DE YUCA .....	68
4.3	EXPERIMENTO B: VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS VERTIDOS DE LAS RALLANDERÍAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS .....	70
4.3.1	OBJETIVOS .....	70
4.3.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS QUEBRADAS Y TOMA DE MUESTRAS .....	70
4.3.3	ANÁLISIS DE DATOS .....	76
4.4	TRATAMIENTOS ESTADÍSTICOS .....	78
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>79</b>
5.1	EXPERIMENTO A: LA POBLACIÓN DE RALLANDERIAS DE SANTANDER DE QUILICHAO .....	79
5.1.1	MATERIA PRIMA .....	86

5.1.2	FLUJOS DE CIANURO EN LAS RALLANDERIAS .....	87
5.1.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS VERTIDOS DE LAS RALLANDERIAS (SITIOS C).....	91
5.2	EXPERIMENTO B: VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS VERTIDOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS .....	98
5.2.1	VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS VERTIDOS DE 12 RALLANDERÍAS .....	98
5.2.2	VALORACIÓN DEL EFECTO DE LOS VERTIDOS DE 4 RALLANDERÍAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DURANTE 5 MESES.....	107
5.2.3	ORDENACIÓN ESPACIAL DE LOS SITIOS DE MUESTREO SEGÚN LA FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA.....	118
5.2.4	COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE LOS SITIOS DE MUESTREO SEGÚN LA FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA.....	119
5.2.5	COMPARACIÓN MULTIPLE DE LOS SITIOS DE MUESTREO BASADA EN LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS .....	123
5.2.6	RELACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS .....	126
5.3	SÍNTESIS DE RESULTADOS .....	127
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>131</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	131
6.2	RECOMENDACIONES.....	132
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>135</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXO .....</b>	<b>144</b>
8.1	ANEXO 1: RESULTADOS DE LA ENCUESTA .....	145
8.1.1	INTRODUCCIÓN.....	145
8.1.2	NIVELES TECNOLÓGICOS.....	145
8.1.3	SITUACIÓN ACTUAL Y LOCALIZACIÓN .....	146
8.1.4	MICROCUENCAS CONTAMINADAS Y RECORRIDO DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	146
8.1.5	CANTIDAD DE AGUAS RESIDUALES .....	147
8.1.6	TIEMPO DE OPERACIÓN Y DE DESCANSO.....	148
8.1.7	CAMBIOS EN EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO.....	148
8.1.8	AGUA PARA EL PROCESAMIENTO .....	148
8.1.9	FLUJOS DE AGUAS RESIDUALES.....	149

8.1.10	TIEMPO DE TRABAJO.....	149
8.1.11	COMO VIERTEN SUS AGUAS RESIDUALES .....	150
8.1.12	FAUNA REPORTADA .....	150
8.1.13	OTRAS AGUAS RESIDUALES.....	150
8.1.14	APORTES A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	150
8.1.15	FORMULARIO DE LA ENCUESTA .....	152
8.1.16	TABLAS DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	157
8.2	ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS QUEBRADAS LA CHAPA Y TIEMBLA.....	169
8.2.1	ESTUDIO DEL ENTORNO .....	169
8.2.2	JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGIA.....	172
8.2.3	QUEBRADA LA CHAPA.....	174
8.2.4	QUEBRADA TIEMBLA.....	186
8.2.5	LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LA CHAPA Y TIEMBLA .....	195
8.3	ANEXO 3: FICHAS DE CÁLCULO DE CAUDALES.....	204
8.4	ANEXO 4: FIGURAS Y TABLAS DE MACROINVERTEBRADOS.....	219
8.4.1	ABUNDANCIA ACUMULADA DE JULIO A DICIEMBRE EN LOS 8 SITIOS (4 A Y 4 B) DE LA CHAPA Y TIEMBLA .....	219
8.4.2	ABUNDANCIA DE MACROINVERTEBRADOS EN LOS 24 SITIOS (12A Y 12B) AFECTADOS POR LAS 12 RALL .....	223
8.4.3	ESTADILLOS DE MACROINVERTEBRADOS .....	226
8.5	ANEXO 5: MATERIA SECA Y CIANURO TOTAL (CNT) EN LAS RAÍCES DE YUCA ANALIZADAS .....	232
8.6	ANEXO 6: TABLAS CON DATOS DIVERSOS DE OTROS ESTUDIOS.....	233
8.7	ANEXO 7: NORMA COLOMBIANA DE USOS DEL AGUA .....	235
8.8	ANEXO 8: VARIOS= TABLAS, DIAGRAMAS Y FOTOS.....	236

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón agrio y dulce (Chuzel, 1994). .....	5
Figura 2. Raíces de yuca donde apreciamos el periderma o cascarilla parcialmente desprendido (Alarcón, 1998). .....	6
Figura 3. Corte transversal de la raíz de yuca (Alarcón, 1998). .....	6
Figura 4. Máquina lavadora de cuerpo cilíndrico y semieje, de carga lateral (Alarcón, 1998). .....	8
Figura 5. Lavadora de cuerpo cilíndrico y eje central para carga frontal (Alarcón, 1998). .....	8
Figura 6. Fotografía de la rallandería 16 donde podemos apreciar la yuca que ha pasado por una lavadora semicontinua y está a la espera de pasar por la máquina ralladora (la capacidad de lavado es mucho mayor que la de rallado y colado). Acoplada a la lavadora está la ralladora y a un lado se encuentra la coladora (con el número 1). .....	10
Figura 7. Lavadora de cuerpo cilíndrico y eje central, de acción semicontinua. Velocidad de rotación: 30 rpm (Alarcón, 1998). .....	10
Figura 8. Máquina ralladora. (A), vista de techo y (B), vista lateral (Alarcón, 1998). .....	11
Figura 9. Máquina ralladora. (C), vista de frente y (D), dibujo técnico (Alarcón, 1998). .....	12
Figura 10. Coladora soportada sobre cuatro rodamientos o chumaceras (Alarcón, 1998). .....	12
Figura 11. Máquina coladora de semieje típica de una rallandería del Municipio de Santander de Quilichao (Alarcón, 1998). .....	12
Figura 12. Fotografía de la rallandería 3 donde podemos ver los canales de sedimentación y al fondo la máquina coladora. .....	14
Figura 13. Tanque de fermentación de almidón agrio de yuca (Alarcón, 1998). .....	15
Figura 14. Diferentes productos elaborados con almidón agrio. En la bandeja señalada (izquierda de la foto) se puede apreciar cuatro productos típicos de las panaderías: pandeyuca (los dos de la parte superior), buñuelos, pandebono y almojábanas (Alarcón, 1998). .....	17
Figura 15. Estructura molecular de los glucósidos cianogénicos, linamarina y lotoaustralina e hidrólisis de la linamarina (Yeoh <i>et al.</i> , 1998). .....	20
Figura 16. Localización del Municipio de Santander de Quilichao en el Departamento del Cauca, República de Colombia. .....	45
Figura 17. Mapa del relieve de Colombia donde podemos apreciar las tres cordilleras (Occidental, Central y Oriental), las cuatro llanuras (Pacífica, Caribe, Llanos Orientales y Amazonía) y sus más importantes regiones (García, 2003). .....	46
Figura 18. Mapa donde se aprecian las tres cordilleras, los centros hidrográficos o estrellas fluviales y los principales ríos de Colombia (García, 2003). .....	48
Figura 19. Subcuenca del río Quinamayó, vista panorámica tomada cerca del nacimiento de la quebrada La Chapa, frente a la vereda Chapa a 1655 msnm. Al fondo en la parte superior izquierda de la foto está el cerro Munchique tapado por las nubes. ....	51
Figura 20. Subcuenca del río Mondomo, vista panorámica tomada en el área del nacimiento de la quebrada Tiembla, en la vereda Mondomito a 1540 msnm. Al fondo se observa las estribaciones de la cordillera Central. ....	52
Figura 21. Precipitaciones mensuales en 3 estaciones meteorológicas de la zona de estudio durante el periodo de la toma de muestras: enero de 1999-enero de 2000: La Aguada (Altitud 2018 msnm, Latitud 02o 53' N, Longitud 76o 22' O), Mondomo y CIAT. Enero y febrero de 1999 fueron dos meses atípicos, con más lluvia de la habitual. ....	53
Figura 22. Localización aproximada sobre los ríos y quebradas de las subcuencas del río Quinamayó y del Mondomo-Ovejas (cuenca del río Cauca, Santander de Quilichao) del lugar de afluencia del agua residual (sitios de muestreo C) de las 12 RALL consideradas en nuestro estudio. ....	67
Figura 23. Cuencas de drenaje de las quebradas La Chapa (verde) y Tiembla (rojo). .....	72

Figura 24. Caballete utilizado para medir la pendiente lateral de las laderas izquierda y derecha de las quebradas.....	73
Figura 25. Esquema del método empleado para la medición de la pendiente longitudinal del río (S) a partir de la altura del agua (H) en una manguera apoyada sobre el lecho del cauce entre dos puntos situados a una distancia conocida (L). .....	74
Figura 26. . Sección transversal del canal de un río, indicando las medidas que se deben tomar para medir el caudal (Q): el área de cada subsección ( $a_i$ ), la profundidad inicial y final de cada subsección ( $p_i$ ) y la situación aproximada de colocación del moliente para medir la velocidad del agua en cada subsección ( $v_i$ ). .....	74
Figura 27. Gráficas de características de las rallanderías: ARCTD y CATD.....	83
Figura 28. Componentes Principales de Características de 12 RALL (F1, F2 y F3).....	85
Figura 29. Histograma de lotes de raíces de yuca (semiamarga=S, amarga=A y dulce=D) por nivel tecnológico (NT1 y NT2) de las RALL.....	89
Figura 30. Componentes Principales para Flujo de CN en 12 RALL por NT (F1, F2 y F3).....	90
Figura 31. Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos: pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Amonio ( $NH_4^+$ ) y Carga Contaminante (CC) de las AR de las RALL (lugar de muestreo C), teniendo en cuenta el NT de la RALL. ....	95
Figura 32. Componentes Principales de Vertidos (Concentración) y Comparación de Medias ( <i>t-Student</i> ) de los factores de las RALL agrupadas por NT(n de NT1=6 y n de NT2=6) y test de homocedasticidad de Levene (10 grados de libertad). ....	96
Figura 33. Componentes Principales de Vertidos (Flujo) y Comparación de Medias ( <i>t-Student</i> ) de los factores de las RALL agrupadas por NT(n de NT1=6 y n de NT2=6) y test de homocedasticidad de Levene (10 grados de libertad). ....	97
Figura 34. Distribución expresada como porcentaje de géneros encontrados por metro cuadrado en la quebrada La Cascada en el sitio de muestreo 12A. ....	106
Figura 35. Distribución expresada como porcentaje de géneros acumulados de julio a diciembre por metro cuadrado en la quebrada Tiembra en el sitio de muestreo 38A y 38B. ....	112
Figura 36. Distribución expresada como porcentaje de géneros encontrados por metro cuadrado en la quebrada La Chapa (3A en julio y 21A en diciembre) y Tiembra (38 en septiembre). ....	116
Figura 37. Componentes Principales de las concentraciones de 12 RALL (1 observación) y 4 RALL (5 observaciones). ....	117
Figura 38. Componentes Principales en los sitios de muestreo A y B de las quebradas La Chapa y Tiembra.....	118
Figura 39. <i>Scatterplot</i> de los Flujos de SSTD*, SDTD*, DBO5D* y NNO2D* en A y B, de julio a diciembre. ....	121
Figura 40. <i>Scatterplot</i> de STD*, DQOD*, NTOTD* y CC de julio a diciembre. ....	122
Figura 41. <i>Line plot</i> de H' y BMWP en A y B de julio a diciembre. ....	124
Figura 42. <i>Line plot</i> de J y ASPT en A y B de julio a diciembre.....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características fisicoquímicas de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón agrio de yuca en 2 rallanderías del Norte del Cauca (Rojas, 1999). .....	19
Tabla 2. Resultado de la adición de linamarasa en el contenido de ácido cianhídrico (HCN en mg/kg de materia seca) en yuca amarga fresca o seca (Tewe, 1975). .....	21
Tabla 3. Concentraciones de cianuro en la yuca. Los valores corresponden al cianuro total, expresado mg/kg de peso fresco (Tomado de Eisler, 1991). .....	22
Tabla 4. Contenido de materia seca (MS), expresado como %, y concentración de cianuro total y cianuro libre, expresados en mg/kg, en corteza y parénquima de raíces frescas, de diez variedades de yuca cultivadas en Colombia (Gómez <i>et al.</i> , 1980). .....	23
Tabla 5. Concentraciones de cianuro en aguas superficiales (Eisler, 1991). .....	25
Tabla 6. Criterios propuestos para la protección de la biocenosis de ecosistemas acuáticos continentales (aguas dulces) frente al cianuro libre (HCN y CN <sup>-</sup> ). Selección realizada a partir de la síntesis recopilatoria realizada por Eisler (1991). .....	26
Tabla 7. Clases, rango de valores de puntuaciones, asignación de calidad y características para las aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia por Zamora (1999 y 2005). .....	34
Tabla 8. Adaptación para Colombia del Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico BMWP ( <i>Biological Monitoring Working Party Score System</i> ), según Zamora (2005). .....	36
Tabla 9. Datos climatológicos de la estación CIAT en Santander de Quilichao correspondientes al periodo comprendido de enero de 1999 a enero de 2000. ....	54
Tabla 10. Características de los suelos de la Asociación Quinamayó y Mondomo (CIAT, 1999). .....	56
Tabla 11. Uso actual de los suelos en la subcuenca Mondomo (CIAT, 1999). .....	56
Tabla 12. Datos de precipitación diaria mensual en 1999 de la Estación Mondomo, ubicada a un lado del puente de la carretera Panamericana, kilómetro 55,7 de la vía Popayán-Cali. Elevación: 1360 msnm, Latitud: 02° 54' N, Longitud: 76° 36'. Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). .....	58
Tabla 13. Localización geográfica y altitud de las 12 rallanderías (RALL) seleccionadas para nuestro estudio, indicando su nivel tecnológico (NT) y la subcuenca de drenaje (cuenca del Cauca) en la que están situadas. También se indica la fecha en la que se tomaron las muestras. Estas coordenadas son prácticamente las mismas para los sitios de muestreo C, dado su proximidad a las RALL. ....	68
Tabla 14. Localización de los sitios A y B en los que se tomaron muestras de agua fluvial y de la taxocenosis de MIB durante 5 campañas en las quebradas La Chapa y Tiembra. El número que identifica al tramo corresponde al de la rallandería que vierte sus aguas entre A y B. ....	71
Tabla 15A. Variables, siglas y unidades de las características de las RALL. ....	80
Tabla 15B. Características de las 12 RALL agrupadas por NT. ....	80
Tabla 16. Comparación de medias ( <i>t-Student</i> ) de las características de las RALL agrupadas por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) y test de homocedasticidad de Levene (10 grados de libertad). Se ha aplicado el test de la <i>U de Mann-Whitney</i> para la variable ARCTTY por no presentar una distribución normal. ....	81
Tabla 17. Características de la materia prima utilizada en las RALL, concentración y flujo de cianuro en las AR y el que queda presente y va a las quebradas. ....	88
Tabla 18. Resultados del test de la <i>t de Student</i> (10 grados de libertad) para la comparación de medias por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) de la concentración y flujo de cianuro de la yuca a las AR de las RALL y test de homocedasticidad de <i>Levene</i> (10 grados de libertad). Se ha aplicado el test de la <i>U de Mann-Whitney</i> para la variable CNC y CNCD porque sus varianzas no son homocedásticas. ....	89

Tabla 19. Características fisicoquímicas en los vertidos de las RALL.....	92
Tabla 20 . Resultados del test de la <i>t de Student</i> (10 grados de libertad) para la comparación de las medias por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) y <i>test de homocedasticidad de Levene</i> (10 grados de libertad) de los vertidos de las rallanderías.....	93
Tabla 21. Características fisicoquímicas y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas: La Chapa, La Cascada, Quimbas, Tiembla, Vergara y Río Mondomo en los lugares de muestreos A y B en donde vierten sus AR las 12 RALL (n=24). .....	104
Tabla 22. Test de la <i>t de Student</i> de muestras dependientes para la comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas en los 24 sitios de muestreo A y B (n de A=12 y n de B=12). .....	105
Tabla 23. Géneros encontrados en la quebrada La Cascada (subcuenca del río Quinamayó) en el sitio de muestreo 12A y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N = número de individuos por m <sup>2</sup> (densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H' = índice de diversidad de Shannon (en log con base e y con base 2), J = Equitatividad, BMWP y ASPT. ....	106
Tabla 24. Características fisicoquímicas y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas: La Chapa y Tiembla en los lugares de muestreo A y B donde vierten sus AR las RALL 3, 21, 38 y 51 (n=40). .....	108
Tabla 25. Descriptores de la estructura de MIB con los valores acumulados de los 5 muestreos (julio a diciembre) en las quebradas La Chapa y Tiembla, en los sitios de muestreo A y B.....	111
Tabla 26. Test de la <i>t de Student</i> de muestras dependientes para la comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas en los 40 sitios de muestreo A y B (n de A=20 y n de B=20) y test no paramétrico de <i>Wilcoxon Matched Pairs</i> .....	113
Tabla 27. Test de <i>Duncan</i> para los parámetros fisicoquímicos en los lugares de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la subcuenca del río Quinamayó y 38A, 38B, 51A y 51B de la subcuenca del río Mondomo.....	120
Tabla 28. Test de <i>Duncan</i> para los parámetros de los macroinvertebrados en los lugares de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la subcuenca del río Quinamayó y 38A, 38B, 51A y 51B de la subcuenca del río Mondomo. ....	123

## GLOSARIO

ALD =Agua de la Lavadora por Día  
ALH =Agua de la Lavadora por Hora.  
ALM =Almidón.  
AR =Agua Residual  
ARCTD =Agua Residual de Canales y Tanques por día  
ARCTH =Agua Residual de Canales y Tanques por Hora.  
ARCTTY =Agua Residual de Canales y Tanques por Tonelada de Yuca  
ASPT =Average Score Per Taxon.  
BMWP =Biological Monitoring Working Party Store System.  
CATTa = Consumo Total de Agua por Tonelada de Almidón  
CATD =Consumo de Agua por día  
CATY =Consumo de Agua por Tonelada de Yuca  
CC =Carga Contaminante.  
CE =Conductividad Eléctrica.  
CECORA =Central de Cooperativas de la Reforma Agraria  
CETEC =Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesoría Técnica  
CIAT =Centro Internacional de Agricultura Tropical.  
CINARA = Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (Universidad del Valle, Cali, Colombia).  
CIRAD-SAR =Centro de Cooperación Internacional para la Investigación Agronómica para el Desarrollo  
CN<sup>-</sup> =Cianuro.  
CNCl =cloruro de cianógeno.  
CND =Cianuro por día.  
CNT =Cianuro Total.  
CNC =Cianuro en C.  
CNCD =Cianuro en C por Día.  
CNP =Cianuro que queda presente y va a las quebradas  
CNTD =Cianuro Total en la yuca procesada por día.  
CON<sup>-</sup> =ión cianato.  
CORPOTUNIA =Corporación para el Desarrollo de Tunia.  
CRC =Corporación Autónoma Regional del Cauca.  
CVC = Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.  
D =Densidad.  
DB =Diámetro basal.  
DANE = Departamento Administrativo Nacional de Estadística.  
DAP =Diámetro a la altura del pecho.  
DBO<sub>5</sub> =Demanda Bioquímica de Oxígeno.  
DBO<sub>5</sub>D =Demanda Bioquímica de Oxígeno por día.  
DC =Dimensiones de copa.  
DO =Dominancia.  
DOR =Dominancia Relativa.  
DQO =Demanda Química de Oxígeno.  
DQOD =Demanda Química de Oxígeno por día.  
DR =Densidad Relativa.  
EPA =Environmental Protection Agency.  
F =Frecuencia.  
FAO = Food and Agriculture Organization.  
FNC= Federación Nacional de Cafeteros.  
FQF =Fisicoquímica del agua fluvial.  
FR =Frecuencia Relativa.  
GC =glucósidos cianogénicos.  
GPS =Global Position System.  
H' =diversidad de Shannon-Weaver.  
HCN =ácido cianhídrico.  
HF =Altura del fuste.  
HT =Altura total.

IFAD =International Fund for Agricultural Development.  
 IGAC =Instituto Geográfico Agustín Codazzi.  
 INDERENA =Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables.  
 IVI =Índice de Valor de Importancia.  
 J =Equitatividad de Pielou.  
 LUG=Lugar.  
 MAE =Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia.  
 MIB =Macroinvertebrados bentónicos.  
 MS =Materia Seca.  
 MSY =materia seca en yuca.  
 N =Diversidad (número de individuos).  
 $\text{NH}_4^+$  =Nitrógeno Amónico.  
 NMC =Nivel Máximo de Contaminante  
 $\text{NNH}_4\text{D}$  =Nitrógeno contenido en Amonio por día  
 $\text{NNO}_2\text{D}$  =Nitrógeno contenido en Nitrito por día  
 $\text{NNO}_3\text{D}$  =Nitrógeno contenido en Nitrato por día.  
 $\text{NO}_3^-$  =Nitrato.  
 $\text{NO}_2^-$  =Nitrito.  
 $\text{NNO}_2$  = Nitrógeno contenido en Nitrito.  
 $\text{NNO}_3$  = Nitrógeno contenido en Nitrato.  
 $\text{NNH}_4$  = Nitrógeno contenido en Amonio.  
 NT1 =Nivel Tecnológico 1.  
 NT2 =Nivel Tecnológico 2.  
 NTOT =Nitrógeno Total.  
 NTOTD =Nitrógeno Total por día.  
 OD =Oxígeno Disuelto.  
 ONG =Organismo no gubernamental.  
 ORSTOM =Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.  
 Q =Caudal.  
 RALL =Rallandería.  
 RAS =Reglamento de Saneamiento Básico  
 S =Riqueza.  
 SATOD =Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto.  
 SDT =Sólidos Disueltos totales.  
 SDTD =Sólidos Disueltos totales por día.  
 SEDECOM =Servicios de Desarrollo y Consultoría para el Sector Cooperativo y Microempresas  
 SINA =Sistema Nacional Ambiental  
 SIG =Sistema de Información Geográfica.  
 SST =Sólidos Suspendidos Totales.  
 SSTD =Sólidos Suspendidos Totales por día  
 ST =Sólidos Totales  
 STD =Sólidos Totales por día  
 TEMP =Temperatura.  
 TC =Tiempo de operación de la Coladora  
 TL =Tiempo de operación de la Lavadora  
 USEPA=Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.  
 VDIA =Volumen de vertidos por día  
 YFD =Yuca Fresca procesada por Día.  
 YLH =Yuca Lavada por Hora.  
 YCH =Yuca Colada por Hora.  
 YSD =Yuca Seca por Día.

## ABSTRACT

Cassava, *Manihot esculenta* Crantz, is a shrub known by the natives of tropical America as the “tree of the life” by the nourishing qualities of its roots, which are very rich in carbohydrates in starch form (25.3%). Amazonian people developed artisanal techniques to consume these tubers without the inherent risks due to the presence of cyanogenic glycosides (i.e. linamarin and lotaustralin).

At the moment, cassava consumption, processing and crop have been extended to all the tropical zones. Since 1998, the International Fund for Agricultural Development (IFAD), according to FAO, has led a collaborative effort aimed at developing a global strategy to promote cassava as an important staple food and income source for its producers. One important goal of the effort is to spur rural industrial development that will increase work opportunities and raise incomes of producers, processors and traders.

Sour starch is obtained by small or medium processing units, which are commonly known in Colombia as “*rallanderías*” (RALLs), which use cassava roots as raw material. Their wastewaters could contribute high organic materials and cyanides (CN<sup>-</sup>) to receiving streams. CN<sup>-</sup> is toxic for the aquatic flora and fauna at very low exposures to air, water, or food, as it disrupts respiratory processes if it is absorbed.

The objective is to assess the impact that starch agro-industry could have on aquatic ecosystems, monitoring in receiving streams, the physical-chemical water quality (WQ) and the structure of Benthic Macro-Invertebrate communities (BMI). This case of study in Northern Cauca could be an outstanding opportunity to warn people of tropical countries about potential impacts associated to rural development.

Study area is located in Andean mountain range, in the Municipality of Santander de Quilichao, to the N of the Cauca Department, in SW Colombia. It is a territory widely dedicated to grow cassava, which is processed for the production of sour starch. Cauca is a significant Colombian cassava-producing Department and the main starch-producing one (7 000-10 000 t/y of starch: 70-80 % total yield).

We take into account a sample of 12 RALLs among a total population of 43. In the 12 streams that receive the wastewaters of these facilities, we compare the communities of Benthic Macro-Invertebrates (BMI) and the water quality (WQ) of the reaches placed downstream (sites B, n=12), with those reaches not affected, and placed immediately upstream (sites A, n=12).

The 12 RALLs used up to 657 m<sup>3</sup>/day of clean freshwater for processing cassava, which is equivalent to the daily use of a human population of 5475 inhabitants. The total of 43 RALLs which operate in the region, process 39 290 t/y of cassava (5306 kg/y, CN<sup>-</sup>), and spilling to the streams 246 kg/y of CN<sup>-</sup>.

We found two technological levels (TL) of RALLs, having TL-1 higher starch outputs. Independently of TL group, high pollutant loads are spilled, although pH was significantly ( $p \leq 0,05$ ) lower acid in

wastewaters of TL-1 (5,28) than in those of TL-2 (4,24), and being ammonium concentration (1,1 mg/L,  $\text{NH}_4^+$ ), and Chemical Oxygen Demand (5714 mg/L, COD) higher in TL-1 group.

Water quality of stream ecosystems are clearly affected, showing sites B reaches significantly ( $p \leq 0,05$ ) negative effects in their WQ, mainly on dissolved oxygen saturation (DO sat), electrical conductivity (EC), dissolved (DS) and suspended solids (SS), Biological Oxygen Demand ( $\text{BOD}_5$ ), and COD, and, on  $\text{CN}^-$ , nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), and Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) concentrations.

BMI structure was also disturbed, showing sites B significantly ( $p \leq 0,05$ ) lesser diversity ( $H'$ ), richness (S), Biological Monitoring Working Party scores (Colombian adaptation of BMWP), and ASTP than sites A. Only there were no significant differences in density (N).

**Key words:** Benthic Macro-invertebrate Community, Cyanide, Pollution, Stream Ecosystem, Water Quality.

## SUMMARY AND RECOMMENDATIONS

Of the 62 existing and operative RALL at the moment of the poll in Municipality of Santander de Quilichao, only 43 RALL worked regularly (The TL1 RALL work 10 months approximately; the TL2 work 8) because of different factors such as: economic resources, lack of base materials and water on summer, cloudiness of the water in the process, or because of the heavy rains in winter the base materials can't be taken to the RALL; lack of sun to dry things up, so the starch fermentation tanks fill up (the sunlight hours are directly proportional to the capacity of the fermentation tanks); malfunctions on the machinery (strainer, washing machine and the grater) and blackouts due to the heavy thunderstorms that are common in the area.

In India, the starch agroindustry is also seasonal and operates 4-5 months per year.

The 43 RALL use around  $4708\text{hm}^3$  /year of water that are then spilled in the rivers (spilling  $3542\text{hm}^3$  / year of AR) polluting and destroying ecosystems present in the area. They process 39290 t/year of cassava that contain 5306 kg/year of CN and spill 246 kg/year of CN in their AR for a production of 8800 t/year of starch; this shows us that we are at a very low level of starch production because the quantity of agroindustries is less when compared to other countries and the production of the RALL is much lower than the likes of India, Southern Vietnam, Thailand (although it is bigger than northern Vietnam's).

The TL1 RALL process more fresh cassava per day than the average TL2, as they use more efficient washing machines with a bigger capacity, using up more water per hour but have a shorter washing cycle; two strainers so they can keep up with a higher production; they generate a bigger amount of AR per day but spill small quantities for 9 hours. The  $\text{NH}_4$ , COD y CC are also bigger than in a TL1 because they're small quantities that go directly into the rivers and not allowing some solids to sediment, not allowing some chemical and enzymatic processes to be done; this shows us that the upgrades and advances in this industry have only helped to make the quality and quantity of the starch to go up, but to this day nobody has researched in a more efficient, rational and sustainable use of the water; this has a very big cost in ecological terms, because the water that the RALL use is unpolluted water from upriver, to spill it back with a high polluting factor, as they're now acidic (high contents of lactic acid, acetic acid and in smaller proportions, formic, propionic and butyric acid), with a high quantity of organic materials (soluble carbohydrates and proteins), suspended solids (lipids and non-soluble carbohydrates or cellulose fiber), and they also contain CN. Knowing all this, it is very important to retain these AR to get the solid ("mancha") because, apart from being a by-product that can be sold as pig feed, it is an important emitter of pollution in the rivers where it is spilled; pH correction must be done for possible biological treatments.

The quantity of water in the receiving rivers is significantly reduced by the residual waters of the RALL, especially in the driest months. The B sites present a specially lower saturation of dissolved oxygen, more electrical conductivity, more quantity of dissolved solids and in suspension, more oxygen demand (biochemical -BOD<sub>5</sub>- and chemical -COD -), and higher nitrate and inorganic N dissolved, than in the A sites. The macroinvertebrates taxocenosis in the B sites shows a

significant loss of structure, with less richness (S) and diversity (H'), but not showing any differences in density (N). The biotic quality indexes, the adaptations for Colombia of BMWP and ASPT, also show loss of quality in the B sites. It is known that even in small doses, cyanide can be toxic. The concentrations shown on the spills and the ones found occasionally on the ecosystems must be responsible for most part of the damage detected in the local biocenosis (ecological community), because as the toxicological data shows, they are incompatible with the adequate development of many organisms.

In general a turn for the worse in the ecological quality of the rivers as they go to their estuaries is clearly noticeable, as they pick a lot of spills, not allowing their natural autocleaning process to work. This makes sites A and B similar in a way in the lower parts of the mouths, more polluted by the land around them, than their headwaters, where the spills by the RALL produce a much clearer negative effect.

The technological advancements show us that a good option for possible treatments for these residual waters may be found in the usage of integrated treatment process, like the anaerobic in series with the aerobic. Rojas (1999) thinks that this sequence has shown us that it can remove with great efficiency a lot of organic matter, much more than those of the conventional process and at a lower cost; because of the high cost of the machinery involved in the equipment necessary for the treatment and disposal of the aerobic mud. The stabilization ponds are considered a good option because of their low operating and maintenance costs (the RALL 56 has one besides Mondomo river), but are not universally applicable because of the terrain topography needed for them, as most RALL are in a slope; in other cases it's because of the high cost of the land needed. Other option is the filtering of these waters that some RALL have built, but must be evaluated to determine the adequate filter, the efficiency levels and the ecological cost/benefits ratio.

As most RALL are in a slope-zone, the use of *Panicetum Violaceum* and *Saccharum Officinarum* only controlling the pH and the AR would be economical, as they would serve as living barriers against the erosion of the terrain, and they would be extra benefits for the owner, and one less polluting factor for the rivers.

Another complementary use would be the usage of biological digesters to degrade the organic matter, producing gas for kitchen use and the drying of by-products of cassava and sweet starch.

It is very important to recycle the by-product of the washing of the cassava roots, along with the farm's waste (animals and plants alike), along with the households one; they can be used to produce organic fertilizers that can be used to upgrade the soil and raise the efficiency of the crops.

Until now the problems have not been very big because of the high volume of water used in the production of starch, but in the future, if no research is done to drastically reduce the water usage and the spillage and pollution, the sustainability of the agroindustry and its surroundings may get complicated.

It is even more worrying that the rallanders are far apart, as they are not organized; the only cooperative that grouped up a few of them is gone. Without the ample social base that is united to

fight for their guild, they won't be able to ask for help to solve their pollution, quality and water quantity problems.

The CRC, by the decree 901 for 1997, establishes goals in the reduction of water pollution. This law must be upheld, not only by this agroindustry, but by everyone that's spilling their waste directly or indirectly on the rivers; also, it must be supported by studies, designs, ecological education and infrastructure that allow the revitalization of the damaged rivers of the zone.

In the dry season and the start of the rainy one there are low water levels and critical levels of pollution even on the highest parts of the river, getting worse in the middle and a lot more on the lowest parts; it is very important to establish a control for these minimal levels and enforce the laws about the use of water upriver, and a vigilance plan along with a control of all the spills on the zone.

These low levels are the product of the loss of the superficial protection of the soil, because of deforestation; it alters the ground and rises the temperature because of the loss of protection and higher sunlight, accelerating the volatility of the nutrients. This is noticeable because of the alteration of the chemical and physical characteristics of the soil; changes on the plant-soil ratio and a lower production capacity. The indiscriminate cutting makes the possibilities of erosion rise. This anthropization process related to aquatic ecosystems is causing the loss of ecotonal areas or zones that give allochthonous materials that contribute to the primary production and the rise of the cloudiness of water. The antropic activities on the sub-basin of the Cauca River has affected it because of the intervention of the fluvial dynamics to the detriment of the quality of water and altering the longitudinal and across zoning of the vegetation and fluvial landscape.

Some parts of the road that encircles the upriver zone of the micro-basin of Chapa and Tiembra are presenting erosion; some "trinchos" (to carve) are to be put there for the control of the "carcava" (gully erosion-badlands), to do terraces, living barriers, plant grass also, drainage canals must be done to avoid erosion on places where it's needed (draining channels, dissipating boxes to evacuate in a controlled manner the rain water intercepted by a system of physical drainage when no natural ones exist). For the case of erosion caused by too much grazing, the alternative of handling of prairies with lives barriers of cutting grass and construction of terraces.

The recovery by an intensive process of reforestation with native species will allow the recovery of the biological diversity upgrading the quality of the soil, as its fertility will rise and its retention of humidity will grow also, as its structure and nutrient content (reducing the lixiviation (leaching), aporting green fertilizers and adding nitrogen, in the case that the cultivated species are of this type) and incrementing the productivity of the different crops. The planting of trees stabilizes the ground, reducing the hydraulic and eolic tension on the slopes, the near agricultural fields and the non-consolidated grounds. The tree's covering also helps to reduce the quick flux of rain water, regulating the water levels on the rivers, incrementing the quality of the waters and reducing the entry of sediments. The magnitude of the water levels determines the size of the rivers and its hydraulic conditions; its daily, monthly and yearly sequence determines the physical and biological conditions of each river. The speed of the current is intimately linked to the magnitude of the water levels and is one of the factors by which several communities of organisms on the river depend

upon, using the water movement for their feeding or breathing, or using it indirectly by the strata it creates (Hynes, 1970). Under the trees, the fresh temperatures and the moderate humid and dry cycles are a good micro-climate for the micro-organisms and the fauna; it helps against the laterization of the soil. The plantations help to settle the dust and other air particles too.

Another strategy is to introduce in the project the planting of fruit trees, as a part of the reforestation process, as it will be an important addendum to the diet of the family and to the generation of jobs and income of the families; in this strategy the female part of the townspeople will have a crucial part upgrading the nutritional levels of their families and generation their own income with the selling of the surplus of fruit. In this sense the project will have an immediate effect on the protection of the water and a permanent effect on the bettering of the production conditions, and also a better awareness of the conservation of the natural resources for the local population.

## RESUMEN

La yuca, *Manihot esculenta* Crantz, es un arbusto conocido por los nativos de la América tropical como el "árbol de la vida" por las cualidades nutritivas de sus raíces, muy ricas en hidratos de carbono en forma de almidón (25,3 %). Los pueblos amazónicos desarrollaron técnicas artesanales para el consumo de estos tubérculos, sin los riesgos inherentes a la presencia de glucósidos cianogénicos. Su consumo, cultivo y procesamiento se ha extendido a todas las zonas tropicales. Según la FAO, desde 1998 el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) ha promovido un esfuerzo de colaboración para desarrollar una estrategia global de promoción de la yuca como alimento básico y fuente de ingresos para sus productores. Un objetivo importante de este esfuerzo es estimular el desarrollo industrial rural, para aumentar las oportunidades de trabajo y elevar los ingresos de los productores, procesadores y comerciantes.

El almidón agrio se obtiene en agroindustrias con una pequeña o mediana capacidad de procesamiento de los tubérculos, que son comúnmente conocidas en Colombia como "rallanderías" (RALL) y que son *cuasi* artesanales. Se generan aguas residuales que aunque no bien caracterizadas hasta el momento, se sabía que presentan un elevado contenido orgánico y que arrastran cianuro (CN<sup>-</sup>) de los tubérculos. Cianuro que es tóxico para humanos, y flora y fauna acuáticas, interrumpiendo los procesos respiratorios a exposiciones muy bajas, desde el aire, el agua o los alimentos.

Pretendemos conocer el impacto de los vertidos de las RALL sobre los ecosistemas acuáticos evaluando su calidad ecológica, analizando la fisicoquímica del agua y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB). Este caso de estudio pretende servir de ejemplo para advertir a la gente de los países tropicales de la grave pérdida de recursos renovables asociada a un descontrolado desarrollo rural, además de aportar soluciones.

El área de estudio se encuentra en la cordillera andina, Municipio de Santander de Quilichao, N del Departamento del Cauca, SO de la República de Colombia. Es un territorio extensamente dedicado al cultivo de la yuca, que se procesa para producir almidón agrio. El Departamento es un importante productor de yuca y el principal de almidón en Colombia (7000-10000 t/año de almidón), con el 70-80 % de toda la producción.

Tras realizar una encuesta entre los productores locales, para el "Experimento A", seleccionamos 12 de las 43 RALL de la población total, en las que se caracterizaron diferentes subprocesos de interés y especialmente la cantidad de agua y de yuca empleadas, el contenido en cianuro de la yuca y la fisicoquímica de los vertidos. En los 12 tramos fluviales receptores de los vertidos respectivos, comparamos la estructura de las taxocenosis de MIB y la fisicoquímica del agua de los subtramos aguas abajo y por lo tanto influenciados por los vertidos (Sitios B, n = 12), con los subtramos adyacentes aguas arriba y no afectados (Sitios A, n = 12). En el "Experimento B" repetimos la misma estrategia sólo para 4 de las 12 RALL, las situadas sobre los dos cauces más afectados. En este caso la toma de muestras de agua y de MIB se repitió en 5 momentos, una vez al mes durante los 5 meses de actividad de las RALL.

Los datos indican que para procesar la yuca, las 12 RALL consumen diariamente 657 m<sup>3</sup> de agua dulce y limpia, tomada de cabeceras de arroyos y quebradas, lo que equivale a la dotación mínima diaria requerida por una comunidad humana de 5475 hab. La población total de 43 RALL operativas en la región procesa unas 39290 t/año de yuca, lo que representa unos 5306 kg/año de CN<sup>-</sup>, vertiendo a los ecosistemas acuáticos 246 kg/año de CN<sup>-</sup>, aprox. Las RALL presentan dos claros niveles tecnológicos (NT1 y NT2), teniendo las NT1, al trabajar en flujo continuo, una significativamente ( $p \leq 0,05$ ) mayor capacidad diaria de procesamiento de yuca (5596 kg/día), de consumo de agua (66 m<sup>3</sup>/día), de producción de almidón (1,3 t/día) y de generación de aguas residuales (50 m<sup>3</sup>/día). Independientemente del nivel tecnológico, todos los vertidos presentaron una elevada carga contaminante (CC) y concentraciones preocupantes de CN<sup>-</sup> (0,71 mg/l, media). Apreciamos un pH significativamente menor en las RALL NT2 (pH = 4,24) que en las NT1 (pH = 5,28), siendo en NT1 significativamente mayores la concentración de amonio (1,1 mg/l, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y la DQO (5714 mg/l, DQO).

La calidad del agua de los riachuelos receptores se ve significativamente disminuida por estas aguas residuales, acrecentándose los efectos en los meses más secos. Los Sitios B presentan especialmente (n = 20, datos medios) una menor saturación de oxígeno disuelto (69 %), mayor conductividad eléctrica (78 µS/cm), mayor cantidad de sólidos disueltos (49 mg/l) y en suspensión (93 mg/l), mayores demandas de oxígeno, tanto la bioquímica (52 mg/l, DBO<sub>5</sub>) como la química (119 mg/l, DQO), y mayores concentraciones de nitratos (1,5 mg/l) y de N inorgánico disuelto (0,5 mg/l), que los respectivos sitios A. La taxocenosis de MIB muestra en general una significativa pérdida de estructura, con menores riqueza (S) y diversidad (H') y mostrando mayores densidades (N) en los sitios B. Los índices bióticos empleados, las adaptaciones para Colombia de BMWP y ASPT, también indican pérdida de calidad en los sitios B. Dada su conocida toxicidad a exposiciones muy bajas, las concentraciones de CN<sup>-</sup> de los vertidos (hasta 3,1 mg/l) y las encontradas en los ecosistemas (media 41 µg/l en sitios B) deben de ser las responsables de gran parte de los daños detectados en las biocenosis locales, pues según datos ecotoxicológicos, son incompatibles con el desarrollo adecuado de muchos organismos.

En general se aprecia un evidente empeoramiento de la calidad ecológica de los ríos y arroyos según discurren sus aguas hacia las desembocaduras, recogiendo muchos otros tipos de vertidos, sin darles casi la oportunidad de trabajar a los procesos ecológicos de autodepuración. Esto hace que, en términos generales, los Sitios A y B sean más similares entre sí en las zonas bajas de las cuencas, ya más contaminadas por todos los usos del territorio, que en las cabeceras, donde los vertidos de las rallanderías producen un efecto negativo más claro.

Finalmente se discuten los datos en el marco de la agroindustria en los trópicos y se proponen soluciones para hacerla compatible con un desarrollo local sostenible y con la recuperación de los ecosistemas acuáticos afectados.

# 1. INTRODUCCIÓN

La yuca, *Manihot esculenta Crantz*, también llamada mandioca, tapioca, guacamote o cassava en inglés, es un arbusto conocido por los indígenas de la América tropical como el “árbol de la vida” por las cualidades alimentarias de su raíz. El tubérculo es una excelente fuente de energía, dado que es muy rico en hidratos de carbono en forma de almidón (25,3%), por lo que su aporte calórico es considerable. Su contenido en nutrientes es modesto, destacando la presencia de las vitaminas C, B2 y B6, junto con Mg y K. Las hojas son ricas en las vitaminas A y C, en Fe y Ca, y fuente de proteínas (Buitrago, 1990). Es un alimento tradicional de los pueblos amazónicos amerindios que desarrollaron técnicas artesanales para consumirla libre de los riesgos inherentes a la presencia de los compuestos cianogénicos que contiene.

Actualmente su consumo, procesamiento y cultivo se ha extendido a todas las zonas tropicales del planeta. Desde 1998 la *International Fund for Agricultural Development* (IFAD), dirige un proyecto, en colaboración con la FAO, para promocionar la yuca como alimento básico importante y como fuente de ingresos para sus productores. Uno de sus objetivos es estimular el desarrollo industrial rural para aumentar las posibilidades de empleo y elevar los ingresos de los productores, procesadores y comerciantes.

Para los países en desarrollo de clima tropical la aportación energética alimentaria de la yuca es la cuarta en importancia después de la del arroz, el maíz y el azúcar (FAO, 1984-1986). África es el mayor consumidor a nivel mundial, siendo por ejemplo en Zaire, el consumo *per cápita* de 1151 cal/día; en Paraguay, el mayor consumidor latinoamericano, 364 cal/día, y en Brasil, el segundo, 163 cal/día.

La producción total mundial para el año 2004 (FAO) fue de 202,6 Mt y la superficie cultivada 18,5 Mha. África también es el principal productor y el que más superficie dedica a su cultivo (108,1 Mt y 12,3 Mha, respectivamente); le siguen la Región Pacífica Asiática (58,9 Mt y 3,5 Mha) y América Latina y el Caribe (35,4 Mt y 2,7 Mha). Nigeria es el mayor productor mundial con 38,2 Mt y con 4,1 Mha cultivadas. En Colombia la producción fue de 2,2 Mt en una superficie de 191719 ha.

La yuca no solo es consumida directamente, sino que también se emplea como materia prima para la obtención de almidones. El proceso es llevado a cabo por pequeñas o medianas unidades de procesamiento que en Colombia son conocidas comúnmente como “rallanderías”. En el departamento del Cauca, que se ubica en la región sur occidental del país, un tamaño significativo de la población rural, además de transportadores, comerciantes e intermediarios, deriva sus ingresos, directos o indirectos, de esta actividad agroindustrial. La extracción de almidón de yuca comenzó hace unos 60 años como una actividad doméstica de toda la familia. Con el transcurso de los años la demanda de almidón fue aumentando y su extracción se convirtió en una actividad industrial artesanal. En la década de los setenta se introdujeron innovaciones mecánicas en algunas etapas del proceso que lograron aumentar la capacidad productiva.

Durante los años ochenta esta agroindustria empieza a recibir apoyo nacional e internacional a través de instituciones nacionales y ONGs. Así, en 1983 la Cooperativa de Procesadores recibe el

apoyo de la Central de Cooperativas de la Reforma Agraria (CECORA). En 1987 una investigación realizada por los Servicios de Desarrollo y Consultoría para el Sector Cooperativo y Microempresas (SEDECOM) y de la Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesoría Técnica (CETEC) pone de manifiesto la existencia de deficiencias en el proceso de extracción del almidón de yuca.

En 1989 el Centro de Cooperación Internacional para la Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD-SAR) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) deciden colaborar entre sí en un proyecto, con ayuda financiera del Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia (MAE), para apoyar a los procesadores del almidón de yuca. Su objetivo fue desarrollar el sector de producción de almidón de yuca en Colombia, enfocando el esfuerzo hacia los pequeños y medianos procesadores y hacia los productores de la yuca (Chuzel y Muchnick, 1993). El proyecto se centró en mejorar la calidad del producto final y la eficiencia del proceso. También se consideró, aunque en menor grado, la cuestión del manejo de las aguas residuales generadas (estudios realizados por la Universidad del Valle desde 1995).

El proyecto consiguió generar investigación y transferir tecnología mejorada para el procesamiento del almidón; según Gottret (1996) sus resultados más significativos fueron los siguientes:

- 1) Mejoramiento tecnológico de la maquinaria y de los equipos tradicionales de extracción del almidón;
- 2) Introducción de un sistema de sedimentación por canales para reducir las pérdidas de almidón, mejorar su calidad final y aumentar la eficiencia del proceso al permitir un procesamiento continuo;
- 3) Cambios en la distribución de la maquinaria y de los equipos para aprovechar el sistema de gravedad aportado por la pendiente natural del terreno;
- 4) Resultados de la investigación para la mejora de la calidad del almidón;
- 5) Prueba e introducción de nuevas variedades mejoradas de yuca adaptadas a la zona y con características deseables para la transformación del almidón; y
- 6) Sistemas de manejo y tratamiento de las aguas residuales para proteger el medio natural y las fuentes de agua.

La contaminación ambiental está estrechamente ligada al estado de desarrollo de los países; los altamente desarrollados tienen desde hace muchos años legislaciones ambientales de estricto cumplimiento, que van acorde con el crecimiento y desarrollo industrial y con altos estándares en la calidad de vida. Por el contrario en los países del tercer mundo o en vías de desarrollo, apenas si existen leyes sobre la protección ambiental o estas son muy recientes. Dado que la contaminación es función de la población humana y de la disponibilidad energética *per cápita* y de la interrelación con los avances tecnológicos disponibles por las sociedades humanas (Ramade, 1995), el desarrollo industrial de estos países tiene también unas consecuencias indeseables como son el creciente deterioro de los recursos naturales y unos índices de calidad de vida muy bajos por la degradación

del hábitat. Los recursos hídricos se van degradando cada vez más porque si bien es cierto que existen leyes ambientales, su aplicación no ha logrado alcanzar aún una amplia cobertura. En algunas regiones, como las dedicadas a la agroindustria en Colombia, los vertidos de desechos líquidos y sólidos se hacen sin control, razón por la cual la calidad ecológica de los ríos y en general de los cuerpos de agua receptores es cada día menor.

Consideramos que para estas situaciones se hacen imprescindibles tecnologías sostenibles para el medio natural que además cumplan con los siguientes requisitos: simplicidad de diseño, aplicación, operación y mantenimiento; bajo consumo de energía; equipamientos asequibles y sencillos con altas eficiencias, que permitan alcanzar una amplia cobertura en saneamiento y con bajos costos de inversión.

En Colombia, los vertidos de la agroindustria de extracción de almidón agrario de yuca, tienen un potencial de contaminación alto, debido en primer lugar al gran volumen de agua empleado, derivado de la tecnología utilizada y en segundo, al alto contenido de materia orgánica, que permite clasificarlas como de gran carga contaminante (Rojas, 1999).

El agua en contacto con la yuca disuelve una enorme cantidad de materiales, de naturaleza orgánica e inorgánica, cargándose de elementos y compuestos potencialmente nocivos para la biota de los cuerpos de agua receptores de los vertidos. En el proceso se consumen grandes cantidades de agua limpia de manantiales localizados en la región montañosa que una vez utilizados son descargados, sin ningún tratamiento, a las quebradas o ríos de la región.

Este estudio se centra en los efectos producidos por la agroindustria rallandera de Santander de Quilichao sobre los ecosistemas acuáticos receptores de sus vertidos. Este municipio se encuentra situado al norte del Departamento del Cauca, en Colombia. En la zona, abundan las pequeñas rallanderías dedicadas a la obtención de almidón -fundamentalmente agrario- a partir de la raíz de yuca. Desde hace años, la Universidad del Valle junto con muchas otras instituciones nacionales e internacionales vienen trabajando en un programa continuado de investigación y apoyo a los pequeños empresarios de la región. Se trata de encontrar la solución más apropiada para controlar y mitigar los efectos sobre los ecosistemas acuáticos de los desechos líquidos crudos de las rallanderías. En el contexto de ese proyecto se enmarca esta tesis doctoral, con la intención de que sus resultados y conclusiones, junto con la información generada sirvan para conseguir la mejor integración ambiental posible de esta industria en la región, la recuperación de la calidad ecológica de sus ecosistemas acuáticos y la mejora de la calidad de vida de las sociedades locales.

La tesis ha sido organizada en dos grandes bloques, que corresponderían a la primera fase del proyecto, la de recogida de la información necesaria para la toma de decisiones en la fase de actuación. El primer bloque es la tesis en sí, que se centra en dos aspectos fundamentales: la valoración de los contenidos en cianuro de las raíces de la yuca empleadas como materia prima por las rallanderías para producir almidón agrario, la caracterización de las rallanderías, de los procesos que realizan y de sus vertidos líquidos residuales a los cauces de agua naturales; la caracterización de los efectos producidos por los vertidos sobre los ecosistemas acuáticos receptores mediante una

aproximación fisicoquímica de la calidad del agua y otra biocenótica de la taxocenosis de macroinvertebrados acuáticos.

El segundo bloque de la tesis corresponde a un Anexo en el que aportamos una información complementaria que consideramos necesaria para la futura segunda fase, la de actuación en la zona de estudio, junto con los resultados pormenorizados de la encuesta que tuvimos que realizar entre los ralladeros. En concreto consta de la siguiente información:

- 1) Resultados de la encuesta;
- 2) Descripción de algunas características estructurales de las quebradas Chapa y Tiembra y de su vegetación riparia;
- 3) Fichas con los resultados del cálculo de caudales en las quebradas;
- 4) Figuras y Tablas de Macroinvertebrados;
- 5) Tabla de Materia Seca y Cianuro Total;
- 6) Tablas con datos diversos de otros estudios;
- 7) Norma colombiana de usos del agua.

La industria de la yuca seca, que se viene desarrollando desde hace varios años en Colombia, Brasil y Ecuador, está centrada principalmente en la fabricación de alimentos concentrados (piensos) para animales, especialmente pollos, cerdos, vacunos y peces. En Colombia la producción anual máxima de yuca seca se alcanzó en 1990 con 25000 t, producidas en 160 agroindustrias de la Costa Atlántica que a pesar de generar un valor adicional a los yuqueros de la región, representaron solo un porcentaje bajo (2,5 %) de la producción total anual colombiana. La otra zona yuquera del país está ubicada en el departamento del Cauca y se dedica a la producción de almidón, del que se producen entre 7 000 y 10 000 t/año, lo que representa aproximadamente entre el 70 y el 80 % de la producción total colombiana (CIAT, 1995b).

## 1.1 EL PROCESO

En la Figura 1 se muestra un diagrama del procedimiento empleado para obtener almidón a partir de la raíz de la yuca, junto los flujos de agua limpia y residual asociados. Se trata de un proceso que se puede explicar en 8 fases: el suministro de la yuca, la "lavada y pelada", el rallado, el tamizado, el recolado, la sedimentación, la fermentación, y el secado. A continuación realizamos una breve descripción de dichas fases.

Fase 1. Suministro de yuca.

Una encuesta realizada por el CIAT en 1990 indica que las plantas procesadoras de almidón a pequeña escala llevan asociada un área promedio de cultivo de 106 ha, de las cuales el 46% correspondían a propietarios y 54 % eran rentadas. Sin embargo en 1991, el porcentaje de tierras rentadas para el cultivo disminuyó en 57 %; este mismo año, el total de área cultivada por 99 procesadoras de almidón fue en promedio de 80 ha, lo cual significa que 26 ha fueron destinadas para otros propósitos (Mosquera *et al.*, 1994).

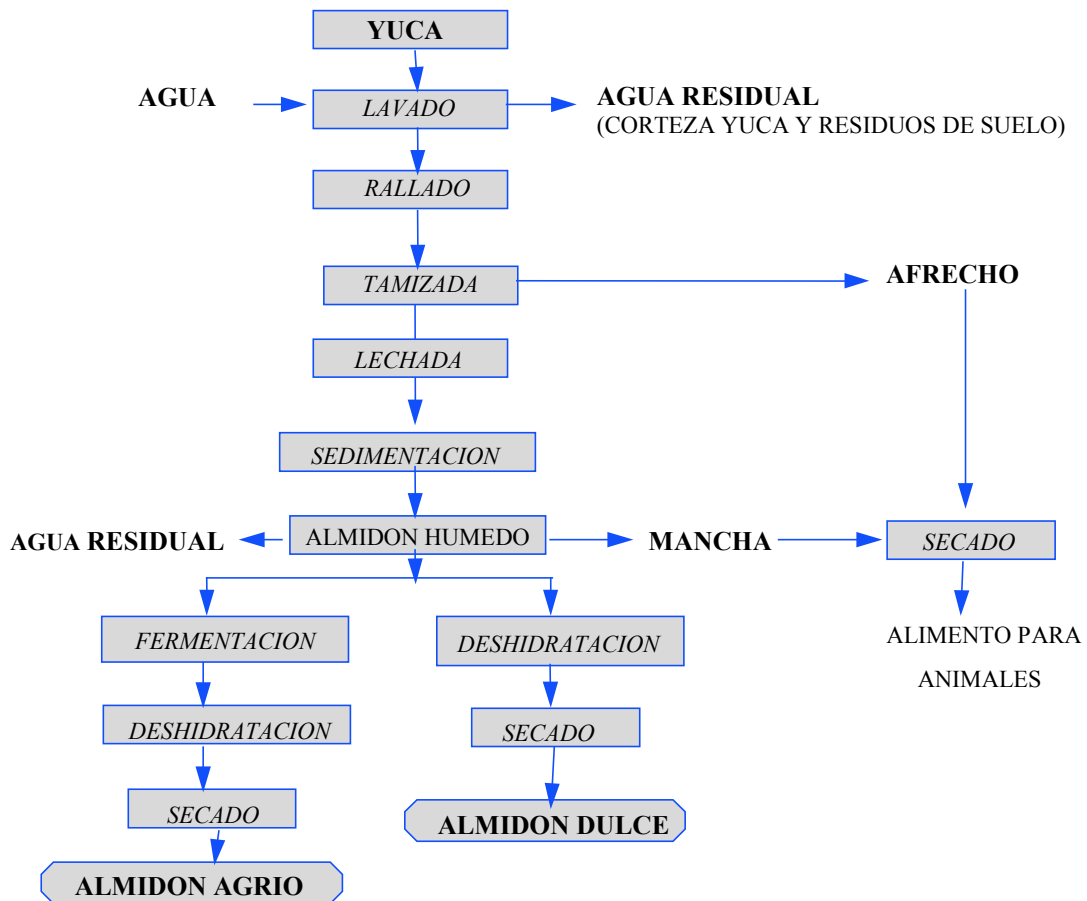


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de almidón agrio y dulce (Chuzel, 1994).

#### Fase 2. Lavada y pelada.

Esta labor se hace manual o mecánicamente en tambores rotatorios. Es la primera etapa del proceso y en ella se eliminan las partículas de suelo adheridas y la cascarilla (Figs. 2 y 3).

#### Fase 3. Rallado.

El rallado se realiza en rotores fabricados en madera, recubiertos por una lámina de hierro galvanizada con salientes agudos sobre su superficie y provistos de un marco de madera que permite la graduación del rallado. Se dispone de una tolva para la alimentación de la yuca y de un tanque de cemento recubierto con baldosín blanco para recoger la pulpa (CIAT, 1995a y 1995b).

#### Fase 4. Tamizado.

El almidón disuelto en la lechada se separa del afrecho. Para tamizar la lechada se emplea un tambor giratorio, llamado por los ralladeros “coladora”, que está recubierto por una lámina galvanizada con perforaciones circulares, recubierto a su vez con diferentes tipos de materiales; actualmente el más usado es el nylon (58%), seguido del lienzo (28%) y la seda (3%). El “afrecho”, subproducto de esta operación, es usado como complemento de concentrados (piensos) para animales o se ofrece directamente en la alimentación animal (Buitrago, 1990).



Figura 2. Raíces de yuca donde apreciamos el periderma o cascarilla parcialmente desprendido (Alarcón, 1998).

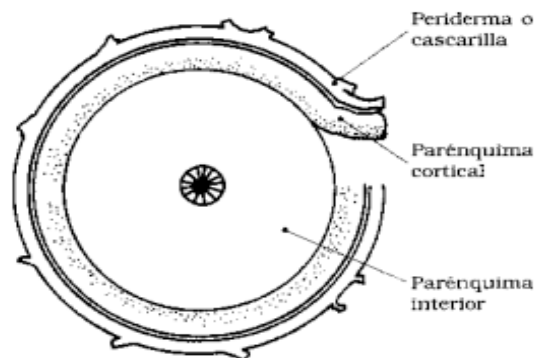


Figura 3. Corte transversal de la raíz de yuca (Alarcón, 1998).

Fase 5.Recolado.

En algunas rallanderías después de que la lechada salga de la coladora se hace pasar por pequeños tamices que tienen movimientos de vaivén con el propósito de retener las fibras finas o impurezas antes de llegar a los canales o tanques de sedimentación.

Fase 6.Sedimentación.

La lechada procedente del tamizado se deja sedimentar 8-20 h y después se procede a extraer el sobrenadante. Finalmente las partículas de fibra y otros materiales finos, que no fueron extraídos durante el tamizado, se separan en forma de mancha, otro subproducto usado en la región para alimentación animal. La sedimentación en casi la mitad de las rallanderías se lleva a cabo en tanques de hormigón, revestidos o enchapados en cerámica; el resto posee canales de sedimentación que consisten en 7 canales de 25-30 m de largo por 0,40 m de ancho y de alto. En esta etapa se obtiene

el almidón húmedo, que si se seca inmediatamente (al sol o artificialmente) hasta alcanzar el 12 % de humedad, se denomina almidón dulce. Este almidón dulce es el utilizado por muchas industrias que son muy exigentes sobre su calidad, sobre todo en lo referente a su blancura y carencia de impurezas.

Fase 7: Fermentación.

Para obtener el almidón agrio, el almidón húmedo se pasa a una serie de tanques, donde permanece entre 15 y 30 días hasta alcanzar la acidez deseada. Este almidón es utilizado solamente por panaderías y pequeñas industrias alimentarias, que solo exigen de él que posea una alta capacidad de expansión.

Fase 8: Secado.

El almidón agrio solo se debe secar al sol, colocándolo sobre polietileno grueso de color negro, extendiéndolo en capas de 2 kg/m<sup>2</sup>, siendo por consiguiente la disponibilidad de área de secado una limitante de su producción. El secado puede hacerse en bandejas corredizas instaladas en los techos de las rallanderías o sobre el piso de éstas. El almidón se voltea con un rastrillo de caucho dos a tres veces diarias y se recoge con un contenido de humedad de entre el 12 % y el 14 %.

### 1.1.1 MAQUINARIA, INFRAESTRUCTURAS Y FORMA DE OPERAR

A continuación pasamos a describir las máquinas e infraestructuras utilizadas en el proceso de extracción del almidón agrio de yuca, así como su forma de operar.

#### **Lavado**

Las máquinas utilizadas para el lavado de las raíces son de tres tipos: lavadoras cilíndricas de semieje, de eje central y semicontinuas. La de semieje es un cilindro que mide 80 cm de largo por 80 a 85 cm de diámetro y tiene una capacidad de 65 kg de raíces de yuca. El tambor está capacitado y accionado por un semieje de 3 a 4 cm de diámetro, montado sobre rodamientos y acoplado a una de las caras del cilindro. El tambor gira de 40 a 45 rpm. El conjunto va sobre una pileta de cemento que recibe el agua y las impurezas. Las paredes del cilindro están formadas por una lámina de hierro galvanizado con orificios ovalados de aproximadamente 3 cm y distanciados entre sí de 7 a 10 cm (Fig. 4).

El lavador se carga y descarga a través de una abertura circular de 35 a 40 cm de diámetro situada sobre una de las bases del cilindro, donde hay un aditamento que ayuda a realizar la labor. Por la misma abertura entra un tubo para el suministro de agua. Contiguo a la lavadora se encuentra un tanque que sirve para recibir la yuca lavada.

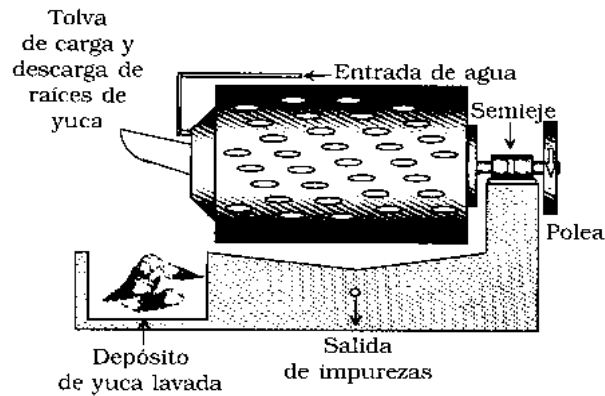


Figura 4. Máquina lavadora de cuerpo cilíndrico y semieje, de carga lateral (Alarcón, 1998).

El lavador cilíndrico de eje central es similar al anterior pero difiere de este en los siguientes aspectos: sus dimensiones son de 90 a 100 cm de largo por 70 a 90 cm de diámetro, con una capacidad de 90 a 180 kg de raíces de yuca. Posee un eje central de 4 a 5 cm de diámetro, montado sobre rodamientos y gira entre 35 y 45 rpm. Las paredes del cilindro están formadas por láminas de hierro galvanizado, con perforaciones ovaladas. Posee una compuerta para el cargue y descargue que va a lo largo del cilindro, la cual tiene de 69 a 65 cm de ancho. Paralelo al cilindro a unos 15 cm va un tubo con perforaciones, el cual suministra agua a presión; el conjunto va montado sobre una piletta de cemento dividida en dos secciones. Una situada debajo del cilindro, la cual recibe el agua y las impurezas; la siguiente está destinada para recibir la yuca lavada. Esta máquina, al contrario de la anterior, requiere ser detenida para efectuar el cargue y descargue (Fig. 5).



Figura 5. Lavadora de cuerpo cilíndrico y eje central para carga frontal (Alarcón, 1998).

En ambos sistemas, el movimiento es transmitido a través de un juego de poleas y correas planas, las cuales son movidas por un motor de 0,5 a 1 HP (en caso de ser un lavador de semieje) o por un motor de 5 HP, que a su vez se utiliza para mover toda la maquinaria del proceso.

La lavadora cilíndrica semicontinua, por ser de reciente desarrollo, es aún poco utilizada; su manejo es muy fácil y práctico. Tiene un cilindro con un eje central que gira sobre unos rodamientos; las paredes del cilindro son de lámina galvanizada con perforaciones ovaladas o rectangulares por donde sale el agua y las impurezas. El cilindro va acoplado a una tolva en uno de los extremos, en el

otro se encuentra la compuerta de salida (Figs. 6 y 7). El agua se suministra por un tubo bifurcado con orificios que va de un extremo a otro del cilindro, sin impedir la libre rotación de este. En algunas lavadoras se suministra el agua a través del eje central que se encuentra perforado. El consumo de agua es de 1,3 L/kg de yuca y tiene una capacidad de 1500 kg/h. En algunas rallanderías estas lavadoras se acoplan a la operación de rallado dando un mayor rendimiento en el proceso (CIAT, 1995b).

#### Forma de operación.

En forma general, las tareas que conforman la operación de lavado son: cargue de la máquina lavadora, lavado de las raíces y descargue de las raíces. El cargue de la máquina toma entre 2,2 y 7,3 min dependiendo del tipo de máquina y de la capacidad de carga de la misma. El lavado puede durar entre 3 y 4 min en lavadoras de semieje y entre 10 y 20 min en lavadoras de eje central; dependiendo básicamente de la capacidad de la máquina y del tiempo transcurrido entre la cosecha y el inicio del proceso, pues cuanto mayor sea este, más difícil es extraer la piel o cascarilla. El tiempo de descargue dura entre 1,3 y 2,8 min siendo ligeramente menor para lavadoras de tipo semieje. Tomando como promedio los tiempos de cargue, lavado y descargue más frecuentes, la capacidad para la operación de lavado sería de 680 kg/h para la lavadora cilíndrica de semieje y 370 kg/h para la lavadora cilíndrica de eje central. En ambos sistemas, las tareas son realizadas por un mismo operario, el cual realiza también las operaciones de rallado y colado.

#### Consumo de Agua.

Para la limpieza de las raíces sin pelar, tal como llegan del cultivo, las rallanderías utilizan agua limpia a razón de 2,8 y 3,2 l/kg de yuca lavada, dependiendo básicamente del agua disponible en la zona.

#### Residuos.

Durante el lavado se produce un residuo compuesto de impurezas, peridermo (piel exterior de la cáscara), y partes de corteza y parénquima, el cual corresponde a un 2 o 3% del peso total de la yuca. Aunque no en forma generalizada este residuo se seca y se utiliza como abono orgánico o se mezcla con el afrecho.



Figura 6. Fotografía de la rallandería 16 donde podemos apreciar la yuca que ha pasado por una lavadora semicontinua y está a la espera de pasar por la máquina ralladora (la capacidad de lavado es mucho mayor que la de rallado y colado). Acoplada a la lavadora está la ralladora y a un lado se encuentra la coladora (con el número 1).

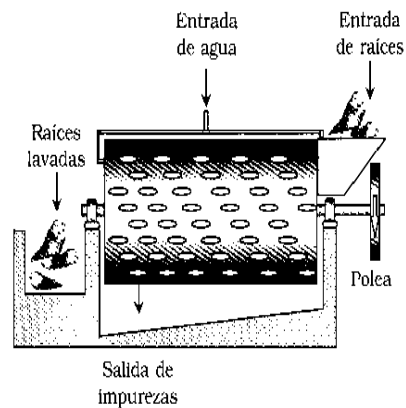


Figura 7. Lavadora de cuerpo cilíndrico y eje central, de acción semicontinua. Velocidad de rotación: 30 rpm (Alarcón, 1998).

## **Rallado**

En las rallanderías de la zona, el rallador más conocido es el que resulta de hacer perforaciones con puntilla a una lámina de hierro galvanizado. Esta lámina es colocada en la periferia de un cilindro o tambor giratorio construida en madera dura o armazón metálico. El sistema consta de una tolva de alimentación, el rallador propiamente dicho y un tanque receptor. La tolva es en madera y está puesta en forma vertical (Figs. 8 y 9). El rallador, dispone de un marco de madera colocado delante de la superficie rallante, con el cual se regula el rallado. El tanque receptor está construido en ladrillo y cemento, y

generalmente revestido con azulejo; mide 180 cm de largo, 60 cm de ancho y 60 cm de altura. El cilindro en término medio tiene 35 cm de diámetro y 50 cm, de largo y va montado sobre un eje de hierro que gira entre 1200 y 1800 rpm. La operación de rallado suele hacerse en seco, pero en algunas rallanderías lo hacen con agua para facilitar el transporte de la pulpa por medio de una motobomba o aprovechando el gradiente de gravedad hasta la coladora. El rallado no puede ser demasiado fino porque los gránulos muy pequeños de almidón sufrirían un daño físico y un subsiguiente deterioro enzimático. En estas condiciones la sedimentación sería más lenta y se formaría mayor cantidad del subproducto denominado como “mancha”.

La capacidad de este tipo de rallos trabajando con un suministro continuo del material fluctúa entre los 600 y 800 kg/h de yuca dependiendo del tiempo de uso del rallo y del contenido de almidón de las raíces (a mayor contenido, mayor dureza de la raíz). La capacidad de alimentación por parte del operario depende de la distancia y la disposición entre el lavado y el rallado; esta puede variar entre 10 y 17 kg/min. El equipo puede ser accionado por un motor individual de 1,5 HP o por uno de 5 HP que también puede ser empleado para las demás máquinas.

### **Tamizado**

El tamiz utilizado es el cilíndrico (Fig. 10), el cual mide entre 80 y 100 cm de diámetro y entre 80 y 100 cm de largo. En el contorno lleva una lámina de hierro galvanizado con perforaciones circulares de 1 cm de diámetro, distanciados 8 o 10 cm. La parte interna de la lámina va cubierta por una tela de lienzo o nylon, cuya trama es de 80 *mesh*, en la que se tamiza la mezcla de pulpa rallada y agua que permite el paso de la lechada de almidón y retiene la fibra o afrecho. Internamente el cilindro dispone de unas cucharas metálicas que se encuentran soldadas al armazón y cuya finalidad es ayudar a voltear la yuca rallada durante la operación. El sistema de cargue y descargue es similar al de la lavadora de raíces de semieje.

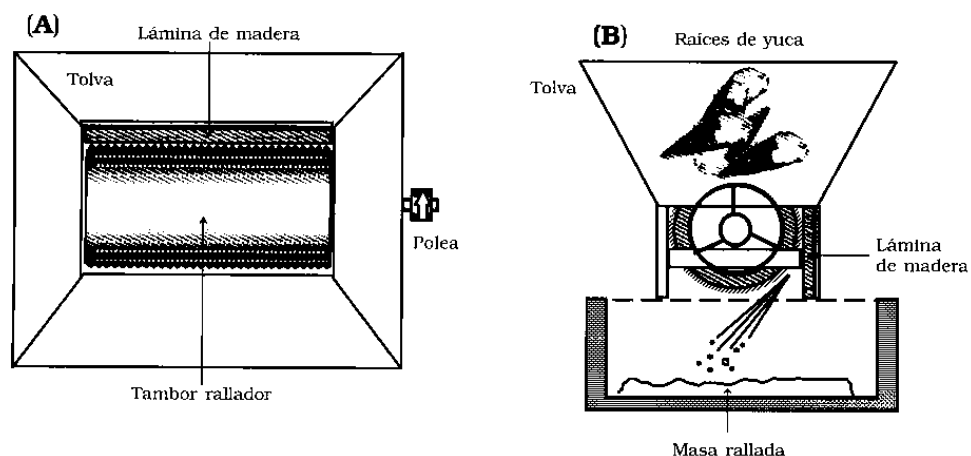


Figura 8. Máquina ralladora. (A), vista de techo y (B), vista lateral (Alarcón, 1998).

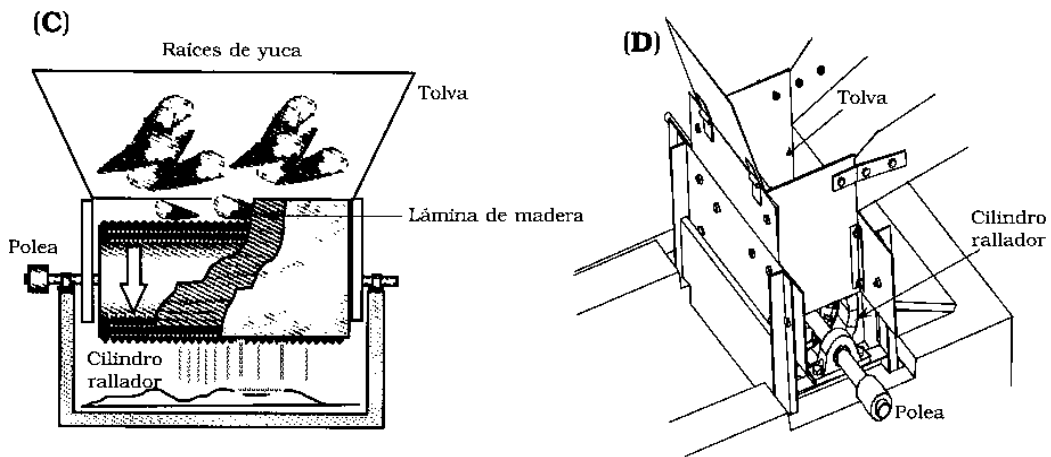


Figura 9. Máquina ralladora. (C), vista de frente y (D), dibujo técnico (Alarcón, 1998).

El tambor va puesto sobre dos ejes paralelos soportado por chumaceras y conectados por una transmisión de cadena; los ejes tienen cada uno dos ruedas pequeñas que soportan el cilindro y los ejes por medio de una transmisión de correa plana. Por debajo del cilindro a 15 cm, de separación se encuentra un tanque de 10 cm de profundidad, el cual es revestido de azulejo y sirve para recibir la lechada, que luego será conducida mediante una tubería a los tanques o canales de sedimentación. En algunas rallanderías antes la lechada es llevada a un recolado. Actualmente también se emplean en la zona las coladoras de semieje (Fig. 11). El cilindro en las dos coladoras gira a 15-20 rpm.

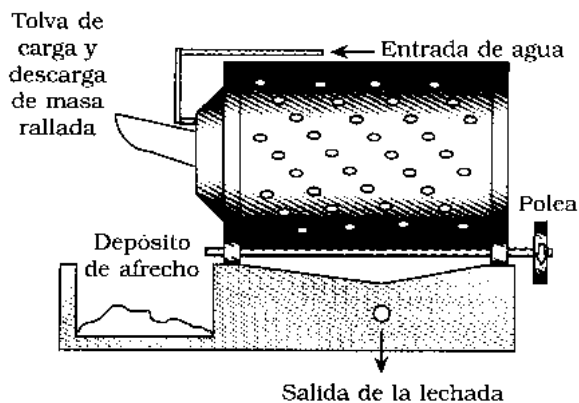


Figura 10. Coladora soportada sobre cuatro rodamientos o chumaceras (Alarcón, 1998).

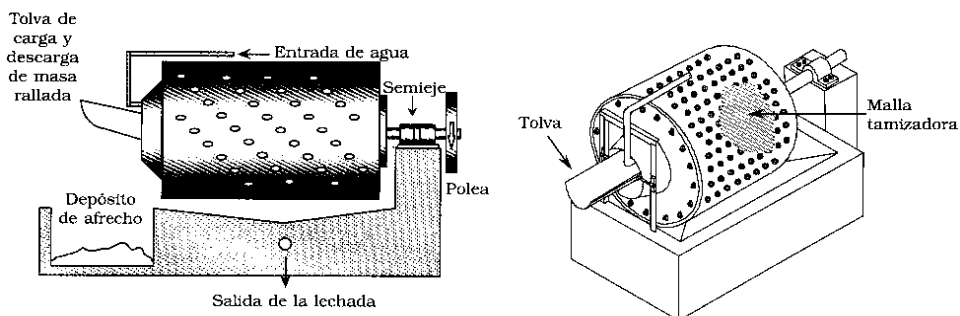


Figura 11. Máquina coladora de semieje típica de una rallandería del Municipio de Santander de Quilichao (Alarcón, 1998).

Forma de operación.

Las tareas que conforman la operación de tamizado son: el cargue, el colado y el descargue. El cargue de la yuca rallada se realiza mediante baldes que permite el control de la cantidad de pulpa a colar. La capacidad de carga varía entre 64 y 85 kg y tiene una duración de 2,2–4 min dependiendo de la distancia y disposición entre el rallo y la coladora. Algunas rallanderías cargan las coladoras por medio de motobombas o aprovechando el gradiente de gravedad. El tiempo de colado (entre 12 y 17 min) depende básicamente del contenido de almidón de las raíces. El final del proceso viene determinado por el grado de transparencia de la lechada. El descargue del afrecho ripio se realiza mediante la tolva de descarga directamente al tanque de almacenamiento de este. El tiempo de descarga (entre 1 y 4 min) depende de la eficiencia de la tolva. Tomando un promedio de los tiempos más frecuentes utilizados en la operación tenemos, que la capacidad de tamizado estaría entre 295 y 340 kg/h.

Consumo de Agua.

El consumo real durante el tamizado varía entre 7,5 l/kg y 13,3 l/kg de pulpa. El consumo de agua depende al igual que en el lavado de la disponibilidad de agua en la zona.

### ***Sedimentación***

Las rallanderías de reciente construcción realizan la sedimentación por el sistema de canales (Fig. 12). Su longitud varía entre 100 m y 200 m, y no deben estar inclinadas. Al sedimentarse gradualmente, el almidón crea una ligera pendiente que facilita el flujo. Consta de siete canales de 25 a 30 m de largo cada uno. A la entrada de los canales hay una pequeña caja desarenadora donde la arena y otros sólidos que vienen en la lechada pueden sedimentarse. Los canales son de ladrillo y se recubren con azulejo, lo cual permite que la lechada se deslice de manera uniforme e ininterrumpida, evitando así la sedimentación de la “mancha”, de la arena y de otras impurezas del almidón (Alarcón, 1998).



Figura 12. Fotografía de la rallandería 3 donde podemos ver los canales de sedimentación y al fondo la máquina coladora.

Este proceso también se realiza en tanques en los cuales se deja en reposo la lechada hasta que se halla separado el almidón de las impurezas más livianas (fibra fina, material proteínico y pequeños trozos de pulpa) y del agua. Están contruidos en ladrillo y cemento y revestidos internamente con azulejo. Poseen en el fondo un orificio mediante el cual se realiza el desagüe del agua sobrenadante y la recolección de la mancha.

El número y dimensión de los tanques de sedimentación utilizados es muy variado y depende del espacio y capital disponible. En general la capacidad de sedimentación varía entre  $12\text{ m}^3$  y  $52\text{ m}^3$ , correspondiente a 1300 y 5500 kg de yuca fresca. En promedio las rallanderías tienen 5 tanques de sedimentación con una capacidad promedio para recibir 551 kg/día; lo cual limita la capacidad de producción de la rallandería y permite que se mezcle el almidón con la mancha y que se pierda hasta un 2% del almidón sedimentado cuando éste se “desmancha”. Por otra parte, el volumen de lechada producido por unidad de yuca procesada oscila entre 7,1 y 14,8 l/kg de yuca fresca. La altura de sedimentación oscila entre 80 y 105 cm.

Este proceso requiere de las siguientes operaciones: llenado, desagüe y desmanche. Para el llenado se coloca una tubería entre la coladora y el tanque de llenado. El desagüe y desmanche consiste en retirar el agua sobrenadante a través del orificio de desagüe y transportarla mediante tubos fuera de la planta. Una vez retirada el agua se procede al desmanche el cual consiste en retirar la capa cremosa de color amarillo que queda sobre el almidón. Esta mancha se recoge en canecas plásticas y se deposita en un tanque especial de almacenamiento. Por último se lava la capa superior

de almidón para retirar los residuos de mancha, utilizando agua a presión. Esta operación requiere entre 10 y 20 min y se realiza generalmente al día siguiente del llenado del tanque. Finalmente se procede a llevar el almidón hasta los sitios de secado al sol (almidón dulce) o hasta los tanques de fermentación (almidón agrio). La operación es realizada generalmente por dos operarios que utilizan palas metálicas, carretas y sacos plásticos.

### **Fermentación**

La fermentación es un proceso natural realizado por bacterias lácticas amilolíticas en condiciones anaerobias en tanques de ladrillo-cemento, generalmente cuadrados y de 1 a 1,5 m de lado por 1 a 1,2 m de profundidad. La mayoría de los ralladeros forran los tanques en madera y otros en azulejo (Fig. 13). En promedio las rallanderías poseen 5 tanques de fermentación, cada uno con una capacidad de 1030 kg/día.

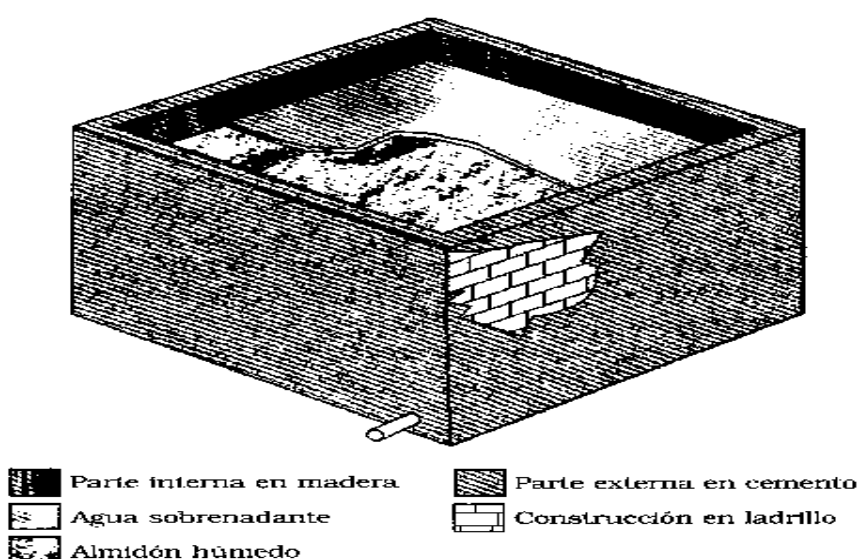


Figura 13 Tanque de fermentación de almidón agrio de yuca (Alarcón, 1998).

Durante el proceso se recoge el almidón de los canales o tanques de sedimentación y se lleva a los tanques de fermentación por capas de 15 a 20 cm de grueso; entre capa y capa se le agrega agua fermentada y en la parte superior del tanque se deja entre 3 y 5 cm de agua sobrenadante por encima del almidón; algunas rallanderías utilizan afrecho húmedo que se extiende en la parte superior del tanque o con sacos de polipropileno húmedos que sirven para protegerlos del sol y evitar la evaporación del agua. El tiempo de fermentación que es variable (20-30 días), depende de la temperatura ambiente y finaliza cuando el pH del almidón alcanza 3,5-4.

### **1.1.2 LA ECONOMÍA DEL ALMIDÓN DE YUCA**

En Colombia la agroindustria de almidón de yuca (natural y modificado) se encuentra en expansión. La producción de almidón dulce en plantas de mediana escala, completamente mecanizadas, ha aumentado para producir almidones modificados. Estos cambios en la industria se deben a un fuerte crecimiento de la demanda de almidones de yuca por la industria papelera, del cartón, de la madera enchapada, textil y petrolera y para las comidas rápidas y pasabocas.

La agroindustria del almidón agrio está localizada principalmente en el Departamento del Cauca, que aporta aproximadamente el 80% de la producción nacional. El principal insumo para la elaboración de esta clase de almidón es la yuca y la mayor parte de la producción caucana, si no toda, está orientada hacia la producción de almidón agrio y de sus subproductos, afrecho y mancha. El coeficiente técnico predominante (kg de yuca/kg de almidón) en la elaboración de este producto es 4,4. Según datos del CIAT (1995) unas 208 rallanderías procesan yuca en el Cauca, concentradas en los municipios del norte. La capacidad instalada de producción de almidón es 42,5 t/año de promedio por rallandería. Dada esta capacidad, la producción máxima de los pequeños productores de la región sería del orden de las 8500 t/año (Alarcón, 1998).

Otro número adicional de agroindustrias con mayor capacidad de producción presenta producciones que oscilan entre las 90 y 180 t/año. Se estima que un uso pleno de la capacidad instalada permitiría rallar 163350 t/año de yuca fresca, tres veces la producción total del Cauca.

Lentamente se han introducido mejoras tecnológicas en la producción de almidón agrio, promovidas por la dinámica de la demanda. En la década de los 70 se introdujo el sistema de colado mecánico y en los 80 el de lavado mecánico. En los últimos 15 años el proceso de mejoramiento para ganar productividad está mucho más activo con el cambio del sistema de sedimentación de tanques por el de canales, con la introducción de la distribución por gravedad y con la mayor eficacia de las máquinas existentes. El almidón agrio se usa principalmente como ingrediente en panadería para elaborar pandebono, pandeyuca, buñuelos, empanadas, arepas de almidón y pasabocas como rosquillas, besitos, chitos y chicharrones (Fig. 14). Los subproductos de rallandería, la mancha y el afrecho, se emplean en la elaboración de piensos para animales. La demanda viene de dos fuentes: la industria moderna, representada por grandes y medianas empresas que utilizan el almidón dulce; y la pequeña industria, incluida la microempresa, que utiliza tanto el agrio como el dulce. En 17 rallanderías del Cauca también se producen muy pequeñas cantidades de almidón dulce (135 t en 1995), que en términos generales no puede ser producido por los métodos artesanales (CIAT *et al.*, 1995).

### ***Principales usos del almidón industrial***

La mayor parte de los almidones dulces que se extraen industrialmente se utilizan en la obtención de almidones modificados. Los almidones transformados son adaptados a los usuarios o utilizadores específicos, siendo los más comunes los pregelatinizados, oxigenados, degradados (por vía ácida o enzimática), catiónicos, reticulados (*cross linked*), éteres, halogenados, dextrinizados, jarabes o dextrosa, dextrosa (glucosa) cristalizada, productos varios y subproductos como los adhesivos (colas), caramelo, alimentos compuestos para animales y proteínas vegetales hidrolizadas.

En la industria alimentaria el almidón dulce se emplea solo o mezclado en elaboración de macarrones y variedades de harinas para preparar pudines, pasteles, galletas, bizcochuelos, obleas, cremas, helados. También se usa como espesante de sopas vegetales, alimentos para niños, confitería en general, ensaladas, almojábanas y embutidos. Tiene que ser de alta calidad, medida por la uniformidad del gránulo, limpieza, olor, viscosidad y ausencia de microorganismos. Utilizan el almidón en forma semigelatinizada o pregelatinizada. Los almidones modificados por medios físicos

producen almidones pregelatinizados que tienen la propiedad de dispersarse en el agua sin necesidad de someterlos a cocción. En la industria farmacéutica este tipo de almidones se emplea en la manufactura de formas sólidas como diluyente, aglutinante, deslizante, lubricante, desintegrante y antiadherente. En la industria alimentaria se usa como aditivo de espesamiento, estabilizadores y como agente de recubrimiento.



Figura 14. Diferentes productos elaborados con almidón agrio. En la bandeja señalada (izquierda de la foto) se puede apreciar cuatro productos típicos de las panaderías: pandeyuca (los dos de la parte superior), buñuelos, pandebono y almojábanas (Alarcón, 1998).

La industria del papel emplea el término “almidón no modificado” para describir un almidón que no ha tenido otro tratamiento diferente al de refinado, purificado y secado. Se emplea para encolado, satinado y revestimiento. Exige blancura, pocas impurezas, bajo contenido de fibra y uniformidad de los lotes. El almidón y las dextrinas se usan en la transformación y reciclaje de papel y cartón. Los almidones no modificados se emplean como materia prima en bases pegantes de productos adhesivos, en pastas y colas baratas que son usadas en manufacturas de artículos desechables, principalmente para material de embalaje, etiquetas, papel de envoltura y cintas para humedecer.

En la industria textil los almidones no modificados constituyen el ingrediente más abundante, barato e importante de las diferentes colas textiles. Cuando un textil demasiado blanco impide la utilización de harina, el almidón de yuca se usa en forma exclusiva, debido a su menor tendencia a la retrogradación – volverse pasta – comparado con otros almidones. El almidón requerido por esta industria no necesita un alto grado de finura, pero se debe garantizar su uniformidad, color, viscosidad y limpieza.

El almidón dulce de yuca también se puede usar en la obtención de alcoholes, glucosa y acetona, en la manufactura de explosivos, colorantes, en la coagulación del caucho, en lavandería, en fabricación de pilas secas e impresiones dentales. En la perforación de pozos de petróleo se emplea como componente de los líquidos perforadores y como floculante en minería.

### 1.1.3 LAS AGUAS RESIDUALES DE LA AGROINDUSTRIA Y LA PRESENCIA NATURAL DE CIANOGLUCÓSIDOS EN LA YUCA.

En muchos países del mundo las leyes que regulan los vertidos de aguas residuales procedentes de los procesos agroindustriales han estado tradicionalmente orientadas hacia el control de parámetros tales como la DBO<sub>5</sub>, la DQO, los sólidos en suspensión o el pH; sin embargo no ha existido una clara determinación para controlar la presencia de elementos y compuestos tóxicos particularmente nocivos para la biocenosis de las corrientes receptoras y para la salud pública. Las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca son un claro ejemplo del tipo de agroindustrias generadoras de desechos que contienen alguna sustancia tóxica: además de aportar una alta carga orgánica, expresada como DBO<sub>5</sub> y DQO, contienen cianuros, moléculas de comprobada y alta toxicidad (Tabla 1).

En los últimos años se vienen desarrollando investigaciones encaminadas a la optimización del proceso de extracción de almidón de yuca y hacia la disminución del cianuro presente en forma natural en los tubérculos. Sin embargo se ha hecho poco para disminuir el impacto negativo de estos vertidos. Es uno de los procesos agroindustriales que en Colombia vierte sin control sus desechos líquidos a quebradas y ríos, la mayoría de ellos con bajo caudal, lo cual agudiza el problema de la contaminación de estos ecosistemas.

Como se pudo observar en la Figura 1, las aguas residuales provienen de dos etapas del proceso: del lavado de la yuca pelada, que contiene gran cantidad de material inerte y baja DQO y del drenaje del tanque o canales de sedimentación del almidón, con altas cargas orgánicas de DBO<sub>5</sub> y DQO (Rojas, 1999).

Los resultados de los estudios ya mencionados realizados por la Universidad del Valle para caracterizar los vertidos de las rallanderías del norte del Departamento del Cauca son los mostrados en la Tabla 1. Hay que indicar que los datos corresponden únicamente a dos rallanderías y además son el promedio de ambos vertidos, lo que no nos permite conocer su variabilidad fisicoquímica. Es previsible encontrar cierta heterogeneidad en algunas características de los vertidos dado que se emplean muchas variedades de yuca con muy diferente contenido en cianogénicos y dado que la extracción del almidón se realiza por diferentes procedimientos.

Los datos obtenidos por Rojas (1999) en las dos rallanderías corresponden a un flujo de descarga de 312,3 kg/día de DQO y 256,7 kg/día de DBO<sub>5</sub>, dando como resultado una alta carga contaminante. En estudios realizados por la Universidad del Valle y el Instituto ORSTOM (*Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération*) para determinar la influencia del cianuro sobre la digestión anaerobia, se muestra que la concentración que inhibe el 50% de la actividad de las bacterias metanogénicas es 1 mg/l de CN, en condiciones de flujo discontinuo y de 96 mg/l de CN para los ensayos con flujo continuo. Ambos sistemas de depuración mostraron sin embargo una alta capacidad de recuperación después de retirado el compuesto tóxico (Aponte, 1996; Idrobo, 1996 y Rojas, 1999).

Tabla 1. Características fisicoquímicas de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón agrio de yuca en 2 rallanderías del Norte del Cauca (Rojas, 1999).

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR PROMEDIO
DBO <sub>5</sub> a 20 °C	(mg O <sub>2</sub> /L)	3988
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	4944
N Orgánico Total	(mg/L)	189
N-Nitratos	"	1,625
N-Nitritos	"	0,050
Cianuros	"	1,35
Sólidos Totales	"	3030
Sólidos Suspendedos Totales	"	1190
Sólidos Disueltos Totales	"	1840
Azúcares Totales	"	501
Carga Contaminante	"	528,5
Almidón	"	557
Acido Láctico	"	1846,4
Acido Fórmico	"	64,4
Acido Acético	"	374,4
Acido Propiónico	"	12,5
Acido Butírico	"	20,9
Temperatura	(°C)	21
pH	-	4,31
Carga de Sólidos Suspendedos	(kg/día)	133,7
Carga de DQO	"	312,3
Carga de DBO <sub>5</sub>	"	256,7

El potencial contaminante de estas aguas tiene dos orígenes: uno es la alta carga orgánica debida a los hidratos de carbono y el otro la presencia natural de compuestos glicosídicos con cianuro (Fig. 15). Desde hace mucho se conoce que en todas las variedades de yuca existen cianoglucósidos en los que por hidrólisis ácida o enzimática, se libera ácido cianhídrico, un poderoso inhibidor de la respiración mitocondrial y compuesto de toxicidad comprobada (Rao y Hahn, 1984; O'Brien *et al.*, 1991; Mlingi *et al.*, 1998; Saka *et al.*, 1998).

Los cianoglucósidos son dos, linamarina y lotaustralina. La linamarina es el 2 (-D-glucopiranosil)-oxi-isobutilnitrilo, con una estructura igual a  $(CH_3)_2C(CN)-O-C_6H_{11}O_5$ , y la lotaustralina es el 2 (-D-glucopiranosil)-oxi-2-metil butilnitrilo, cuya estructura es  $CH_3-(C_2H_5)C(CN)-O-C_6H_{11}O_5$ . De los dos, el predominante es la linamarina, que representa el 93% de glucósidos cianogénicos (Nartey, 1968 y 1978). Otros estudios han encontrado que un 85 % - 90 % del cianuro total de los tejidos en la yuca se encuentra como cianuro ligado o linamarina y solo entre el 10 y el 15 por ciento como cianuro libre o lotaustralina (Gómez, 1982). Los cianógenos liberan el ácido cianhídrico (HCN) por la acción de la linamarasa (Wood, 1965 y 1966). Esta enzima (linamarina - glucósido glucohidrolasa) también está presente en la planta, y se pone en contacto con los cianoglucósidos al destruirse la estructura celular de cualquier órgano de yuca (Conn, 1969). Esto puede ocurrir durante el almacenamiento, el procesamiento o la manipulación (Serres y Tillon, 1973).

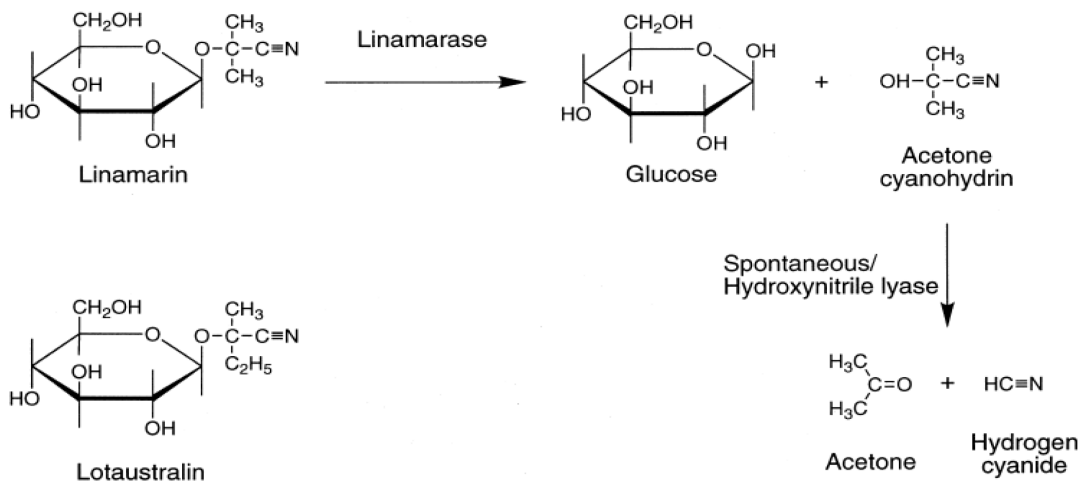


Figura 15. Estructura molecular de los glucósidos cianogénicos, linamarina y lotoaustralina e hidrólisis de la linamarina (Yeoh *et al.*, 1998).

El HCN es uno de los productos finales de la degradación enzimática de la linamarina y la lotoaustralina (Fig. 15). En un primer momento el glucósido cianogénico se separa en el residuo de carbohidrato (-D-glucopiranosido) y una cianhidrina (α-hidroxinitrilo). En un segundo momento, la cianhidrina (C<sub>4</sub>H<sub>7</sub>NO) se desdobla en una acetona (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O) y ácido cianhídrico libre gaseoso (HCN); este último es el que puede ocasionar toxicidad en el organismo cuando superan los niveles de seguridad. Estos compuestos también son considerados responsables de la repelencia que las plantas ejercen sobre algunos insectos fitófagos o herbívoros en general; lo mismo sucede en variedades con altos contenidos de estos glucósidos en lo que respecta a la tolerancia a ciertas enfermedades (Nartey, 1978; Aristizabal *et al.*, 2007). La cianhidrina producida por la linamarasa solo es estable en condiciones medianamente ácidas (pH 4.0); en cambio, en condiciones neutras o alcalinas, este compuesto se hidroliza espontáneamente para originar HCN (Cooke *et al.*, 1985). La linamarina en la yuca no es tóxica en sí, pero se vuelve tóxica si la enzima que la descompone, la linamarasa, entra en contacto con esta. La linamarasa es almacenada en una parte separada de las células de la yuca que la mantiene apartada de la linamarina. Cuando un animal aplasta las células al comer la yuca, la enzima y la linamarina entran en contacto y el animal puede morir. Esta es una forma de protección para la planta. El proceso de rallar, cortar, raspar o algún otro procesamiento de la yuca sin duda libera la enzima pero esta se activa solamente cuando es disuelta en agua (Bradbury, 2006; Aristizabal *et al.*, 2007). Por lo tanto, cuanto mayor sea la trituración o destrucción de la estructura celular de la planta o tejidos más fácil es la liberación del HCN en la yuca; además la temperatura y la humedad aceleran mucho más este proceso. Con solo trocear o picar las raíces, la proporción de cianuro libre aumenta rápidamente a rangos entre 30 y 40% del cianuro total comparado con los niveles de entre 10 y 15% de cianuro libre observados en la corteza (cáscara) o en la pulpa (parénquima), cuando se analizan por separado (Aristizabal *et al.*, 2007).

En la Tabla 2 se presenta un estudio en el que se añadió linamarasa a distintos productos obtenidos de la planta. Se encontró que la adición de la enzima permitió una mayor hidrólisis de los compuestos cianogénicos, y por consiguiente, una mayor producción de HCN. Por otra parte, se

puede entender que en este estudio también se observó que la corteza de la raíz es la zona de mayor contenido de cianógenos.

Tabla 2. Resultado de la adición de linamarasa en el contenido de ácido cianhídrico (HCN en mg/kg de materia seca) en yuca amarga fresca o seca (Tewe, 1975).

	Sin linamarasa	Con linamararasa
Corteza de raíz	557,9	954,8
Pulpa	281,4	540,5
Raíz entera	482,7	621,8
Harina de yuca	42,1	102,4

Los cianoglucósidos se hallan presentes en todos los órganos de la planta, pero su distribución no es homogénea. La linamarina y la lotaustralina se localizan fundamentalmente en la corteza de la raíz y en los tallos (De Bruijn 1971). Estos cianógenos también se encuentran en las hojas. En estas últimas la concentración en cianógenos disminuye con la edad (De Saint Amand, 1960; De Bruijn, 1971 y 1973). Por otra parte, el contenido en estos cianoglucósidos puede aumentar con la fertilización nitrogenada o con el déficit hídrico en el suelo, y puede disminuir con la fertilización orgánica o con potasio. Igualmente, el contenido de cianoglucósidos aumenta en las hojas de las plantas jóvenes con la sombra, pero no en las raíces (De Bruijn, 1973). El HCN se halla en mayor concentración en la corteza que en la pulpa o parénquima y es mayor en la periferia de esta que en el centro de la misma. La concentración de cianuro en las hojas varía, siendo mayor en las hojas tiernas o jóvenes que en las hojas adultas y las concentraciones son similares a las encontradas en la corteza. En las variedades dulces la mayor proporción de HCN se encuentra en la corteza, mientras que en las variedades amargas este se distribuye más uniformemente en la corteza y la pulpa. No existen estudios que demuestren una relación entre la morfología de la yuca y su contenido de glucósido cianogénico (Aristizabal *et al.*, 2007).

El contenido normal de cianógenos está en el rango de 75 a 350 mg/kg (Oke, 1978), pero se han hallado muestras de 10 hasta 2000 mg/kg (Rogers, 1963). En la Tabla 3 se muestra la concentración de cianuro en distintas partes de la planta de yuca. En lo que concierne a las raíces, los datos evidencian que el CN se concentra en la corteza. A este respecto, encontramos que raíces analizadas en Sri Lanka, la proporción de cianuro entre la corteza y el parénquima fue de 10:1 (Rajaguru, 1975).

Esta proporción se movió en un rango muy amplio (1,6:1 a 32,8:1) en variedades cultivadas en Colombia (Gómez *et al.*, 1980). Evidentemente, la proporción de cianuro entre la corteza y el parénquima de hecho varía, pero siempre se encuentra una concentración de CN considerablemente más alta en la corteza que en el parénquima (Pereira *et al.*, 1981; Cooke y de la Cruz 1982). En otro estudio ilustrativo de la existencia de una distribución topográfica del CN dentro del parénquima de las raíces se halló que en muestras de ocho variedades cultivadas existía un gradiente de concentración de cianuro, tanto radial como longitudinal, en el parénquima de las yucas (mayor en

parte proximal y central). En mayor o menor grado, siempre la corteza contuvo más CN que el parénquima (Cooke, 1978).

En las raíces frescas de ciertas variedades, el contenido de cianuro puede ser menor que 10 mg/kg, mientras que en otras, esta concentración puede caer en el rango de 20-30 mg/kg (Müller *et al.*, 1975). Se denominan dulces o amargas las raíces de las variedades de yuca con bajos o altos valores de cianuro (Gómez *et al.*, 1976). Las variedades dulces contienen menos de 100 mg/kg de cianuro en la pulpa o parénquima fresco, y las amargas, son todas aquellas que tienen un valor de cianuro por encima de la cifra antes mencionada (Buitrago, 1990). En realidad no se cuenta con una escala establecida que clasifique las raíces de yuca de forma tal que se tenga en cuenta su contenido en cianuro o cianoglucósidos. Este tipo de clasificación ha sido criticada, porque se ha considerado que la concentración de cianoglucósidos depende del estado de desarrollo de la planta (Ayres, 1972).

Tabla 3. Concentraciones de cianuro en la yuca. Los valores corresponden al cianuro total, expresado mg/kg de peso fresco (Tomado de Eisler, 1991).

YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> )		CONCENTRACIÓN (mg/kg)
Variedades amargas		
	Hojas	347-1000
	Raíces	327-550
	Raíces secas	95-2450
	Tallos	1130
	Afrecho	162
	Corteza	
	CN total	1351
	CN libre	102
	Piel	
	CN total	1390
	CN libre	255
	Pulpa	
	CN total	810
	CN libre	53
Variedades dulces		
	Hojas	377-500
	Raíces	138
	Raíces secas	46-<100
	Afrecho	81

Una clasificación tentativa, que representa otro punto de vista es clasificar las raíces frescas en inocuas, con menos de 50 mg /kg de CN<sup>-</sup>, moderadamente tóxicas, con una concentración entre 50-100 mg/kg, y tóxicas, que serán las que contengan más de 100 mg /kg de CN<sup>-</sup> (Coursey, 1973). También se han clasificado las raíces en cuatro categorías, de acuerdo con el contenido de cianuro en el parénquima fresco: no tóxicas, con menos de 50 mg /kg de CN<sup>-</sup>, poco tóxicas, no entre 50-80 mg /kg de CN<sup>-</sup>, tóxicas entre 80-100 mg /kg de CN<sup>-</sup>, y muy tóxicas, para un parénquima con más de 100 mg /kg de CN<sup>-</sup> (Bolhuis, 1954).

La clasificación de Coursey es solamente para la concentración de cianuro en el parénquima, que es la parte dedicada al consumo humano. Sin embargo, en alimentación animal y en la

producción de almidón se suele usar la raíz con la corteza, que puede representar del 10 al 15% de la raíz (Gómez *et al.*, 1980). El nivel de glucósidos cianogénicos o ácido cianhídrico total presente en la raíz o follaje de yuca, determina la diferencia entre variedades amargas (de mayor toxicidad) y variedades dulces. Según las experiencias del CIAT en manejo de variedades de yuca (Sánchez, 2004), las variedades con menos de 180 mg/ kg de peso seco de HCN se clasifican como variedades dulces, las que están entre 180 y 300 mg/kg de peso seco en variedades semiamargas y las que son mayores a 300 mg/kg de peso seco son variedades amargas. El contenido cianogénico de las variedades amargas, tiende a ser consistentemente mayor, hasta 1000 mg/kg de HCN en raíces frescas, que el de las variedades dulces, 20 mg/kg de HCN en raíces frescas. No se conocen variedades de yuca que carezcan de cianógenos (Ceballos y de la Cruz, 2002).

En la Tabla 4 se muestra un catálogo de variedades cultivadas en Colombia en cuyas raíces frescas se determinó el contenido de cianuro total y libre, tanto en la corteza como en el parénquima. En la mayoría de las variedades el contenido de cianuro total fue de 400-700 mg/kg en la corteza, y 20-60 mg/kg en el parénquima.

Tabla 4. Contenido de materia seca (MS), expresado como %, y concentración de cianuro total y cianuro libre, expresados en mg/kg, en corteza y parénquima de raíces frescas, de diez variedades de yuca cultivadas en Colombia (Gómez *et al.*, 1980).

Variedad	Corteza			Parénquima		
	MS (%)	CN Total	CN Libre	MS (%)	CN Total	CN Libre
Llanera	15,4	494,4	32,2	35,1	25,9	1,9
Valluna	27,1	110,3	17,8	34,6	18,0	1,5
Mcol 22	26,7	1129,1	79,2	43,7	38,4	4,5
Mven 218	22,4	669,1	82,4	39,5	47,5	4,7
Mcol 1684	34,1	494,6	51,3	36,5	301,2	42,7
CM-305-38	28,8	565,0	57,4	40,0	19,4	2,4
CM-323-375	28,0	1086,1	74,5	43,7	64,2	11,3
CM-323-375	24,7	710,4	112,8	40,9	90,6	12,9
CM-326-407	26,6	631,1	80,3	41,7	41,6	12,7
CM-342-55	25,4	493,2	65,4	37,1	39,2	5,7

Por otra parte, el contenido de cianuro libre fue de 7-17 % y de 10-15 % del cianuro total en la corteza y el parénquima respectivamente (Gómez *et al.*, 1980). Estos bajos valores pudieran reflejar el inicio de la descomposición de los cianógenos presentes en las raíces a partir del momento de su cosecha y toma de muestras para la determinación de cianuro. En otro estudio hallaron que el contenido de cianuro en las raíces frescas de yuca osciló entre 140 y 890 mg/kg MS. Sin embargo, la mayor parte de las variedades cultivadas contenían menos de 300 mg/kg (Gómez *et al.*, 1984b).

El cianuro además de ser tóxico para los humanos, lo es para la flora y la fauna acuáticas dado que actúa sobre los procesos respiratorios. Se trata de una toxina celular que se une de forma irreversible con el hierro férrico ( $Fe^{3+}$ ) contenido en la citocromo oxidasa e inhibe el último paso de la fosforilación oxidativa mitocondrial (Cai, 2005). Hay que hacer notar su incidencia sobre los microorganismos descomponedores de la materia orgánica en los procesos biotecnológicos de depuración (Eisler, 1991).

## 1.2 GENERALIDADES SOBRE EL CIANURO (CN)

Una excelente revisión sobre el cianuro y sus efectos es la de Eisler (1991) y un resumen muy sintético desde el punto de vista toxicológico, aunque muy general pero más reciente, es el realizado por Cai (2005). El término "cianuro" incluye a todos los grupos CN en compuestos de cianuro que se puedan determinar cómo ión cianuro ( $\text{CN}^-$ ). Los compuestos de cianuro se pueden clasificar en simples y complejos. Los cianuros simples se representan con la fórmula:  $\text{A}(\text{CN})_n$ . Siendo "A" el catión,  $\text{CN}^-$  el anión y "n" el número de grupos CN necesarios para neutralizar la carga positiva de A.

En las soluciones acuosas de cianuros alcalinos simples, el grupo CN está presente como  $\text{CN}^-$  y HCN molecular, en una relación que depende del pH y de la constante de disociación para el HCN molecular. El resto son los cianuros complejos, cuya toxicidad está generalmente relacionada con su capacidad de liberar iones cianuro a la solución, los cuáles entran en equilibrio con el HCN. Sus propiedades biocidas se ven significativamente afectadas por fluctuaciones relativamente pequeñas del pH.

El término cianuro total, se refiere a todos los compuestos con cianuro, incluyendo a los cianuros simples y complejos, cianoglucósidos y al cianuro libre, y es una medida química del cianuro libre presente en una solución, liberado por acidificación o digestión. Sólo el cianuro libre es considerado como una expresión con significación biológica de la toxicidad por cianuros. En la mayoría de las circunstancias la concentración de cianuros totales puede exceder la del HCN. En aguas naturales la relación entre el cianuro total y el libre varía con las condiciones de recepción de la luz solar y por la presencia de otros compuestos químicos.

En la Tabla 5 mostramos una relación de las concentraciones habituales de cianuro en aguas superficiales basándonos en la recapitulación realizada por Eisler (1991) según diferentes autores. Las fuentes de cianuro de origen antrópico son muy diversas e incluyen procesos industriales, laboratorios, fumigaciones, productos farmacéuticos, el humo de los cigarrillos, fuegos y la guerra química. Están presentes en muchas aguas residuales industriales, especialmente en las de tratamiento y acabado de metales, en las de manufactura de pinturas, aluminio y plásticos, en la gasificación del carbón, minería y refinerías de petróleo, entre otras (Eisler, 1991).

Muchas formas del cianuro están presentes en el ambiente de forma natural: el cianuro libre, complejos cianurometálicos y los cianuros orgánicos sintéticos conocidos también como nitrilos. El cianuro libre (HCN y  $\text{CN}^-$ ) es el principal agente tóxico, sin reparar en su origen. Los cianuros están presentes en muchos vegetales en forma de glucósidos cianogénicos (GC). En la Figura 15 se muestra la estructura química de la linamarina y la lotoaustralina, dos de los GC presentes en la yuca. Sus nombres derivan de su presencia en *Linus spp.* o en *Lotus spp.*, aunque también aparece en *Trifolium spp.* Otros GC son la aciapetalina (*Acacia spp.*), trigloquinina (*Triglochin spp.*), tetrafilina A y B (*Tetrapathaea spp.*), ginocardina (*Gynochardia spp.*), prunasina y amigdalina (*Prunus spp.*), taxifilina (*Taxus spp.*), etc. Según Vetter (2000) son por lo menos 2500 los taxones de reino vegetal conocidos por contener GC, muchos de ellos pertenecen a las familias Fabaceae, Rosaceae, Linaceae y Compositae, entre otras (Vetter, 2000). Algunos de importancia agrícola y que acumulan

importantes cantidades de éstos GC, son el sorgo, el maíz, las semillas de la lima, el lino, los huesos de ciertas frutas (cerezas, albaricoque, melocotón), las arvejas, la linaza, las batatas, los tallos de bambú, el mijo, las almendras y la yuca. Muchas especies vegetales además de hongos, bacterias, algas y plantas superiores producen cianuro como producto metabólico (Eisler, 1991; Vetter, 2000).

Tabla 5. Concentraciones de cianuro en aguas superficiales (Eisler, 1991).

COMPARTIMENTO AMBIENTAL	CONCENTRACIÓN (µg/L)	COMENTARIOS
Cuencas en zonas rurales	3	No contaminadas
Zonas industriales	20	-
Pequeñas cuencas con praderas y bosque Oeste y centro del Canadá	0,7-2; Máx. 5 Máx. 6	Sin población humana 11 ríos entre 1974 y 1977
Agua potable de USA	0,9; Máx. 8	2595 muestras por toda la nación
Agua potable de Gran Bretaña	<50; Máx. 100	-

Una extensa variedad de bacterias y de hongos puede degradar los compuestos cianurados por lo que pueden ser usados en el tratamiento de desechos con cianuro (Towill *et al.*, 1978). Por ejemplo, varias especies de hongos patógenos de plantas cianogénicas, pueden degradar el cianuro por hidratación a formamida; micelios secos de éstas especies son ahora comercializados para la detoxificación de cianuros en desechos industriales (Knowles, 1988). Bacterias y protozoos pueden degradar el cianuro para convertirlo en CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>. La cloración para potabilizar el agua puede convertirlos en cianatos (EPA, 1980); a pH alcalino se ve favorecida la oxidación por el cloro y a pH ácido, la volatilización del HCN hacia la atmósfera (EPA, 1980). En las aguas superficiales su persistencia es relativamente baja en condiciones normales, pero puede persistir por extensos periodos en las subterráneas. Los complejos fuertes solubles en agua, como los ferrocianuros, no liberan cianuro libre, salvo bajo la exposición a la luz ultravioleta. Así, la luz solar puede llevar a la formación de cianuro libre en vertidos que contengan complejos de Fe-CN (Way, 1981 y 1984).

La cloración alcalina de aguas residuales es uno de los métodos de tratamiento de residuos cianurados más extensamente usado. En este proceso se forma cloruro de cianógeno (CNCl), el cuál a pH alcalino es hidrolizado a ión cianato (CON<sup>-</sup>); si el cloro libre está presente, el CON<sup>-</sup> puede además ser oxidado (Leduc *et al.*, 1982; Marrs y Ballantyne, 1985; Simovic y Snodgrass, 1985; Way, 1981). Otros métodos utilizados para el tratamiento de los residuos con cianuro incluyen la construcción de balsas para una degradación natural, la evapotranspiración, exposición a la radiación ultravioleta, tratamiento con aldehídos, ozonización, acidificación (volatilización), re neutralización, intercambio iónico, absorción con carbono activado, descomposición electrolítica, oxidación catalítica y tratamiento biológico con bacterias (Towill *et al.*, 1978; EPA, 1980; Way, 1981; Marrs y Ballantyne, 1987).

En los suelos los cianuros raramente están en formas biodisponibles porque forman complejos con metales traza, son metabolizados por microorganismos o se pierden por volatilización. Al no ser fuertemente absorbidos o retenidos en los suelos es probable que se produzca su lixiviación hacia las aguas subterráneas. Bajo condiciones aeróbicas las sales de cianuro presentes en los suelos son degradadas microbiológicamente a nitritos o forman complejos con metales traza. En condiciones

anaerobias se desnitrifican a compuestos nitrogenados gaseosos, los cuáles entran a la atmósfera. El cianuro rara vez persiste en las aguas superficiales y suelos, debido a la formación de complejos, sedimentación, metabolismo bacteriano y pérdida por volatilización. Las bacterias del suelo, no aclimatadas, son adversamente afectadas a concentraciones de HCN de 0,3 mg/kg; no obstante, las poblaciones aclimatadas pueden degradar desechos con un contenido de cianuro total superior a los 60 mg/kg. Las plantas superiores también pueden verse afectadas por el cianuro debido a la inhibición de la citocromo oxidasa. La razón de la producción y liberación de cianuro por las plantas hacia el medio luego de su muerte y descomposición es desconocida (Eisler, 1991).

Tabla 6. Criterios propuestos para la protección de la biocenosis de ecosistemas acuáticos continentales (aguas dulces) frente al cianuro libre (HCN y CN<sup>-</sup>). Selección realizada a partir de la síntesis recopilatoria realizada por Eisler (1991).

RECURSO, CRITERIO y OTRAS VARIABLES	CONCENTRACIÓN EFECTIVA (µg/l)	COMENTARIOS
Daños mínimos para la mayoría de las especies de peces	3-5	
Reducción de la supervivencia de anfípodos	>3-34	
Seguridad para la mayoría de las especies de peces	3,5 52	Promedio 24 h No superar en ningún momento
Daños significativos para la mayoría de las especies de peces	8-16	Al menos 20 días de exposición
Peligroso:		
para la mayoría de los peces	>11	
para microorganismos	>300	
Reducción de la supervivencia:		
Larvas de moluscos bivalvos	>14	
Muchas especies de peces	30-150	Exposición crónica
Limitación de la reproducción en especies sensibles de peces	>25	
Limitaciones en la natación, el crecimiento, el desarrollo y el comportamiento en peces	>100	
Letal	300-1000	Exposición aguda
AVES: Pollas de agua		
Agua para beber	<50 mg/l	Nivel seguro de CN total

Los cianuros son absorbidos fácilmente por inhalación, ingestión o por contacto con la piel, siendo rápidamente distribuidos por todo el organismo vía sanguínea. El cianuro es un asfixiante potente y de acción rápida, induciendo anoxia tisular a través de la inactivación de la citocromo oxidasa, causando hipoxia citotóxica en presencia de oxigenación hemoglobínica normal. Los peces son los organismos más sensibles en pruebas realizadas bajo condiciones controladas. Se observan efectos adversos no letales significativos que incluyen limitaciones en la natación e inhibición de la reproducción a concentraciones de CN<sup>-</sup> de 5-7,2 µg/l; los efectos letales ocurren entre 20 µg/l y 76 µg/l. Existe información documental sobre efectos adversos no letales en invertebrados a concentraciones de 18-43 µg/l, mientras que los efectos letales se produjeron a 30-100 µg/l. Concentraciones de 3- 7 µg/l ocasionaron muertes en el anfípodo *Gammarus pulex* (Eisler, 1991). Sus efectos biocidas dependen de la dosis y de la exposición previa y son modificados por factores fisicoquímicos y bióticos.

Entre los más significativos podemos nombrar los siguientes: pH, temperatura, OD en el agua, presencia de otras sustancias, el estado de vital, la especie en cuestión y su estado de salud. Eisler (1991) también aporta una revisión acerca de los efectos toxicológicos del cianuro. Eisler (1991) apoyándose en diferentes fuentes, aporta recomendaciones y criterios para la protección de los recursos naturales y la salud pública, referidas a las concentraciones de cianuro libre (Tabla 6).

### 1.3 ANTECEDENTES DE LA LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL

La limnología referente a los ecosistemas tropicales es una ciencia relativamente nueva. En términos muy amplios la limnología es el estudio de la ecología de los ecosistemas acuáticos epicontinentales. El excelente y prolífico limnólogo R. G. Wetzel, recientemente fallecido en 2005 (Boavida, 2005) siendo Secretario General y Tesorero de la *Societas Internationalis Limnologiae* (SIL) indica en su *Limnology* de 1983 que la limnología estudia las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y cómo son afectadas por el ambiente fisicoquímico y biológico.

Probablemente el primer concepto limnológico se deba a Stephen A. Forbes (1887), pero son los trabajos de Forel (1841-1912) los que dan inicio a la limnología como ciencia. El primer laboratorio dedicado a estudios limnológicos fue fundado en Plön, Alemania, en 1891 por Otto Zacharias y se orientó principalmente hacia el estudio de organismos planctónicos. Dicha institución creó a mediados del siglo pasado un laboratorio de limnología en Manaus (Brasil) cuyos trabajos han contribuido al conocimiento de la limnología neotropical. Pero fue August Thienemann (1882-1960) quien estructura la limnología como ciencia y a él se debe la fundación de la SIL, la creación de la revista especializada en publicaciones limnológicas (*Archiv für Hydrobiologie*), el desarrollo del microscopio invertido en colaboración con su discípulo Hans Uthermöhl y el perfeccionamiento de numerosas técnicas de análisis químico del agua con su discípulo Waldemar Ohle (Margalef, 1974 y 1983; Roldán, 1992).

Los primeros antecedentes de los estudios sobre la contaminación de los sistemas acuáticos se remontan a principios del siglo pasado. Debido al incremento y concentración de la población en Europa y Estados Unidos comenzaron a notarse las consecuencias de la contaminación orgánica en ríos y lagos. Poco a poco se fue abandonando la idea de valorar la contaminación por medios exclusivamente químicos y se introdujeron parámetros bióticos para integrar mejor la complejidad de las perturbaciones. Ya en la primera década se publicaron trabajos sobre la ecología de los saprobios (Kolkwitz y Marsson, 1908 y 1909).

En los años 50 comenzó a difundirse la idea de la estructura de la comunidad como medida biocenótica mucho más integradora que las simples listas de especies y los índices derivados de la Teoría de la Información (Teoría Matemática de la Comunicación) se empiezan a emplear también en ecología (Fisher, 1943; Wiener, 1948; Shannon, 1949; Simpson, 1949 y Brillouin, 1951; Margalef, 1968; entre otros).

La mayoría de los autores tiende a recomendar la necesidad de intensificar los estudios que integren los factores fisicoquímicos, ambientales y bióticos. Lo ideal es considerar entre estos últimos a la mayor parte de los componentes de la comunidad elegida y las consiguientes respuestas a todos

los niveles de organización: individual, poblacional, biocenótico y ecosistémico (Karr, 1991). Según Elorrieta (1981) solo así seremos capaces de comprender y predecir la fabulosa capacidad de auto organización de las biocenosis sometidas a una perturbación que siempre responden de la forma más eficaz posible para aprovechar la materia y la energía que entran en el río.

Margalef (1983) dice que: “toda ecología es incompleta, a veces irremediamente incompleta, si no se toma en consideración a las regiones tropicales. En el caso de la limnología, cualquier tipología desarrollada con referencia a la región templada no puede pretender ser universal. Los organismos de las selvas tropicales son muchos más variados con representación de numerosos grupos que faltan en la zona templada.”

Para efectos de una localización geográfica, se entiende por neotrópico, la región americana comprendida entre el trópico de Cáncer en el norte y el trópico de Capricornio en el sur. En otros términos, es la región comprendida aproximadamente entre los 20° N y los 20° S. Se está hablando entonces de los países de Centro América hasta el norte de México y de Sur América hasta el norte de Argentina y Chile y un poco antes del extremo sur del Brasil (Roldán, 1992).

Hasta hace cinco décadas los estudios limnológicos en Colombia eran casi inexistentes. El primer reporte limnológico para Colombia se debe a los trabajos realizados por el profesor Joaquín Molano Campuzano, quien por contrato con el Ministerio de Agricultura realizó una serie de observaciones y estudios de varias lagunas y ríos de Colombia. Sus estudios se centraron en mediciones fisicoquímicas del agua y en la observación del plancton (Molano, 1954).

Luego Roberto Galán Ponce, profesor de la Universidad de los Andes (Bogotá) y quien fuera colaborador del profesor Joaquín Molano Campuzano, inició una serie de estudios centrados en el tratamiento biológico del agua y el conocimiento del fitoplancton en lagunas y ríos en los alrededores de Bogotá.

En la Universidad de Antioquia (Medellín) se produce un fuerte impulso al estudio limnológico de los ríos y quebradas del Departamento de Antioquia con un énfasis especial en la fauna de los macroinvertebrados acuáticos. Cabe mencionar los trabajos de Roldán *et al.* (1973), Pérez y Roldán (1978), Roldán (1980), Ramírez (1981), Machado y Roldán (1981), Hernández y Moreno (1982), Álvarez y Roldán (1983), Bedoya y Roldán (1984) y Álzate (1985). En 1988 Roldán publica una guía taxonómica y ecológica sobre los macroinvertebrados acuáticos de Antioquia (Roldán, 1988).

En el Departamento del Cauca han sido realizados algunos estudios centrados en algunos aspectos de la contaminación del agua:

- 1) Niveles de contaminación producidos por las aguas residuales domésticas y sanitarias en el sector urbano del río Molino en la ciudad de Popayán (Zamora *et al.*, 1981);
- 2) Contaminación del río Ejido (Zamora *et al.*, 1982);
- 3) Microbiología del río Cauca entre el embalse de la Salvajina y el puente del Hormiguero en el Municipio de Suárez (Vásquez *et al.*, 1990);
- 4) Estudio limnológico de la subcuenca del río Las Piedras en el Municipio de Popayán (Navarrete *et al.*, 1993);

- 5) Macroinvertebrados dulceacuícolas en los diferentes pisos altitudinales del Cauca (Zamora H., 1991 y 1993);
- 6) Relaciones de similitud entre comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas de ecosistemas lóticos ubicados entre la Costa Pacífica Caucana y el Piedemonte Amazónico (Zamora H., 1995);
- 7) Descripción morfológica y taxonómica de una nueva especie de *Anacroneuria* (Zamora H. y Roessler, 1995);
- 8) Aspectos ecológicos de las comunidades de macroinvertebrados del Cauca (Zamora H., 1996);
- 9) Caracterización fisicoquímica y macroinvertebrados de ecosistemas dulceacuícolas del Parque Natural Nacional Isla de Gorgona (Vásquez *et al.*, 1996);
- 10) Ciclo biológico y patrón de crecimiento de *Anacroneuria caucana* (Zamora H. y Roessler, 1997);
- 11) Relaciones de similitud entre las comunidades de macroinvertebrados de ecosistemas lóticos de la Isla Gorgona, la vertiente pacífica caucana y el centro oriente del depto. del Cauca (Zamora H., 1997).
- 12) Evaluación rápida de la calidad ambiental en ecosistemas lóticos mediante macroinvertebrados (Zamora H., 1998);
- 13) Evaluación del efecto generado por la extracción de arena sobre la comunidad de MIB y la calidad fisicoquímica del agua en el río Los Robles (Castillo y Zamora, 1999);
- 14) Evaluación de pesticidas organofosforados y macroinvertebrados bentónicos en el río Palacé (Rada *et al.*, 1999).
- 15) Efecto de las variaciones de caudales sobre las comunidades bentónicas de ríos y determinación del caudal ecológico (Vásquez *et al.*, 2000);
- 16) Adaptación para Colombia del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales (Zamora H., 2000);
- 17) Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores (Zamora y Sarria, 2001).
- 18) Análisis biogeográfico de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) en el Departamento del Cauca (Zamora H., 2002).
- 19) Biogeografía y relaciones de similitud entre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales en un transecto Cauca-Meta (Serna y Zamora, 2003).
- 20) Diversidad, similitud y carácter bioindicador de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales de tres ecosistemas lóticos en el Piedemonte Llanero (Longo *et al.*, 2004).
- 21) El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia (Zamora H., 2005).

#### 1.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA Y BIOINDICACIÓN

Como consecuencia de la degradación progresiva sufrida por los ecosistemas acuáticos epicontinentales desde la Revolución Industrial -al ser empleados como receptores de los vertidos de las actividades humanas- surge ya a finales del siglo XIX la necesidad de valorar la calidad de las aguas de ríos y lagos. Los primeros trabajos se centraron en las características fisicoquímicas del

agua y ya a principios de siglo XX se propusieron metodologías biológicas. Debido al desarrollo científico de la Ecología a lo largo del siglo pasado y de su creciente influencia sobre la sociedad y entre las demás ciencias, hemos ido pasando de considerar la calidad del agua, a hablar de calidad biológica y finalmente de calidad o estado ecológico de los ecosistemas acuáticos sometidos a perturbaciones. Las últimas incorporaciones conceptuales y metodológicas se deben a la necesidad de incluir las características del hábitat fluvial y de la cuenca hidrográfica para obtener un diagnóstico completo y generar la información oportuna para identificar las causas de su degradación y proponer soluciones para la restauración ecológica (Mason, 1981; Margalef, 1983; Sheehan and Winner, 1984; Sheehan *et al.*, 1984; Plafkin *et al.*, 1989; NRC (U.S.), 1992; Ramade, 1995; Barbour *et al.*, 1999).

La caracterización de la estructura biocenótica de un ecosistema puede realizarse empíricamente utilizando listados de especies, identificando la presencia o ausencia de especies indicadoras cuyas características de tolerancia hayan sido establecidas mediante ensayos ecotoxicológicos, calculando índices bióticos de utilidad contrastada en casos de contaminación orgánica- y empleando los índices de diversidad derivados de la Teoría de la Información.

Para la evaluación de la calidad de los ríos desde el punto de vista biológico se puede analizar en principio la estructura de cualquier asociación biótica supraindividual, calcular índices de diversidad homologables a índices de calidad, aplicar el concepto de bioindicación, o sometiendo a los organismos a ensayos de laboratorio (bioensayos), entre otras metodologías. Los grupos bióticos utilizados pueden ser bacterias, algas, macrófitos, protozoos, macroinvertebrados o peces; sin embargo lo más frecuente es la utilización de las comunidades de macroinvertebrados.

Un excelente compendio metodológico sobre la evaluación biológica de los ríos es la segunda edición de los protocolos recogidos por Barbour *et al.* (1999) para la USEPA. En ellos se recomienda el empleo de tres tipos de taxocenosis -perifiton, macroinvertebrados y peces- además de aportar metodología para la evaluación del hábitat fluvial. Si bien una evaluación completa requeriría el empleo de las tres taxocenosis y la evaluación del hábitat, los macroinvertebrados acuáticos por sí solos ya aportan un diagnóstico aceptable para muchas situaciones. Su máxima ventaja frente al resto es la manifiesta facilidad para obtener una información fiable a bajo costo y con rapidez acerca de las condiciones locales imperantes en la historia reciente del ecosistema, desde unas pocas semanas a varios meses (Marqués *et al.*, 2003).

#### **1.4.1 MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS (MIB)**

El término macroinvertebrados es un concepto práctico en función del tamaño de los organismos, siendo considerado como tal la taxocenosis constituida por organismos visibles al ojo humano. Aunque no existe un rango fijo de tamaño suelen considerarse como tales los que no sean muy inferiores a 0,5 mm (hasta unos 0,25 mm) y que superen en la fase adulto o último estadio larvario los 2,5-3 mm. Comprenden fundamentalmente taxones como moluscos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos y crustáceos (anfípodos, isópodos y decápodos) y mayoritariamente insectos, entre los que se encuentran coleopteros, hemipteros, efemeropteros, plecoterios, odonatos, dípteros, megalopteros, lepidopteros, neuropteros y tricópteros.

El origen evolutivo de la mayoría de los insectos acuáticos (especialmente Trichoptera, Plecoptera y Ephemeroptera) tuvo lugar en las cabeceras de ríos fríos con fondos pedregosos. Allí es donde se encuentra ahora la mayor diversidad de taxones y donde viven confinadas las familias más antiguas. Por el contrario los moluscos y crustáceos dulceacuícolas provienen de antepasados marinos que han colonizado los ríos y evolucionado en los mismos. Existen por tanto dos grandes tendencias opuestas de colonización evolutiva, una hacia aguas abajo protagonizada por los insectos acuáticos y otra hacia aguas arriba debida a moluscos y crustáceos (García de Jalón y González del Tánago, 1995).

El término bentos o fauna bentónica se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de los ecosistemas acuáticos, sobre los sustratos sumergidos de lagos y ríos tales como rocas, troncos, piedras, plantas acuáticas, residuos de materia orgánica (fundamentalmente vegetal) o enterrados en fangos y limos. Algunos están adheridos al sustrato a través de ventosas como las sanguijuelas; otros mediante ganchos y uñas, como es el caso de la mayoría de los insectos y otros están pegados a las rocas mediante sustancias de secreción como muchos tricópteros constructores de casas. Algunas ninfas de efemerópteros hacen túneles en el fondo de sustratos blandos; ciertas larvas de odonatos, especialmente zigópteros se adhieren mediante sus uñas a la vegetación sumergida. Los turbelarios simplemente se pegan a la superficie del sustrato, ofreciendo de esta manera poca resistencia al paso del agua (Roldán, 1992).

Según García de Jalón y González del Tánago (1995) el interés por los macroinvertebrados está justificado por tres razones:

- 1) son un eslabón fundamental en las redes tróficas de los ecosistemas acuáticos ya que por su tamaño son alimento de peces, aves y anfibios;
- 2) son componentes del ecosistema acuático, aportando diversidad y riqueza;
- 3) son indicadores biológicos de la calidad del agua.

#### **1.4.2 MIB COMO INDICADORES**

El uso de los MIB para detectar perturbaciones en los ecosistemas acuáticos y controlar su evolución en el tiempo no es nuevo; hay numerosos trabajos al respecto que comienzan con el método de los saprobios de Kolkwitz y Marsson (Kolkwitz y Marsson, 1902, 1908 y 1909; Richardson, 1928). Según Marqués *et al.* (2003) su efectividad ha sido suficientemente demostrada en artículos ya clásicos como los de Woodiwis (1964), Chandler (1970) o Hilsenhoff (1977).

Una muestra de los diferentes usos y utilidades del empleo de esta taxocenosis en la evaluación de ecosistemas fluviales, así como de las diferentes metodologías empleadas y de las variadas aproximaciones existentes, son las publicaciones relacionadas a continuación: Krieger (1984), González *et al.* (1985), Bazzanti y Seminara (1987), Clements *et al.* (1988), Hilsenhoff (1988), Plafkin *et al.* (1989), Rovira (1991), Resh y Jackson (1993), Rovira (1993), Lenat y Barbour (1994), Hannaford y Resh (1995), Harris *et al.* (1995), Resh *et al.* (1995), van Hattum *et al.* (1996), Marqués (1998), Marqués *et al.* (2001 y 2003). Especialmente en los últimos años vienen empleándose como

una herramienta económica y eficaz en el seguimiento de la recuperación de ecosistemas fluviales sometidos a perturbaciones de muy diversa índole (Marqués *et al.*, 2003).

Su uso como indicadores se basa en que el hábitat bentónico que ocupan ya es de por sí un indicador ambiental al ser los sedimentos un compartimento ambiental sumidero de materia. Además la mayoría posee cortos ciclos vitales (1 o 2 años a lo sumo), pero lo suficientemente largos para permitirles integrar las alteraciones ecológicas ocurridas en la cuenca en la historia reciente. La información complementaria que aporta su estudio permite complementar la obtenida mediante la caracterización de la fisicoquímica del agua y superar así la limitación aportada por unas muestras de aguas tan concretas, puntuales e instantáneas. Los cambios ambientales se reflejarán en la estructura de la taxocenosis de MIB.

Esta característica que indudablemente es una gran ventaja, se ha convertido en una aparente discordia al tratar de establecer comparaciones entre los resultados de los análisis fisicoquímicos y los índices de calidad biológica o los descriptores biocenóticos obtenidos de un mismo lugar y tiempo. Las discrepancias se presentan especialmente por el carácter instantáneo de una muestra de agua y su caracterización fisicoquímica y desaparecen cuando las perturbaciones son permanentes. De hecho se obtiene una información complementaria y relativa a un periodo de tiempo mayor, de ahí su utilidad.

Los métodos biológicos basados en la presencia o ausencia de organismos en muchos casos con ciclos vitales anuales, como el BMWP' (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988), también han sido criticados. Si no se toman precauciones y se comparan resultados de diferentes momentos estacionales, es evidente que sobre todo en las regiones de más marcada estacionalidad, éstos pueden llegar a depender más de la etapa de desarrollo de la comunidad estudiada que de la calidad del agua. Zamora-Muñoz *et al.* (1995) demostraron que los resultados obtenidos mediante el correcto uso del índice biológico para España (BMWP') son independientes de la estacionalidad en las regiones templadas.

En el neotrópico los ciclos de las diferentes poblaciones no están sincronizados, sino que por el contrario presentan períodos de emergencias continuos a lo largo del año (Roldán, 1980; Zamora, 1996). La alta diversidad en las aguas del neotrópico recoge también una amplia gama de grados de tolerancia frente a las perturbaciones. Los organismos estenoicos son muy sensibles o intolerantes frente a los cambios y pueden ser muy buenos indicadores de calidad, mientras que los eurioicos, que permiten realizar un completo análisis de la estructura de la comunidad, no son sin embargo buenos indicadores. Un índice biótico adecuado para una determinada región ecológica debe ser establecido en base al conocimiento de dichas respuestas.

En términos generales y al nivel de grandes grupos podemos decir que los efemerópteros, plecópteros y tricópteros son indicadores de aguas limpias y que los anélidos y ciertos dípteros (quironómidos) son indicadores de aguas ricas en materia orgánica, lo que suele ir frecuentemente asociado a su consideración como de mala calidad o contaminadas. Cuando es necesaria mayor precisión se debe abordar la evaluación al nivel de género y o incluso de especie, pues no todos los efemerópteros son igualmente indicadores de aguas limpias, ni todos los anélidos de aguas

contaminadas. En estas situaciones el valor intrínseco de los índices bióticos desaparece, debido al sobreesfuerzo que supone alcanzar el nivel de especie entre otras razones por la frecuente ausencia de las claves de determinación adecuadas para cada región ecológica.

### 1.4.3 ÍNDICE BMWP PARA COLOMBIA

El *Biological Monitoring Working Party Score System* o sistema para la determinación de monitoreo biológico, realizado en la Gran Bretaña al amparo del *National Water Council* (Armitage *et al.*, 1983), consiste en la ordenación de los MIB al nivel taxonómico de familia, en diez grupos en una escala de mayor a menor tolerancia a las alteraciones de las condiciones naturales normales de los cuerpos de agua, asignándoles valores entre 1 a 10 puntos respectivamente. Posteriormente se realizó una primera adaptación de este sistema para la Península Ibérica (Alba-Tercedor y Jiménez-Millán, 1987). Debido a que el índice BMWP solo permitía obtener unas puntuaciones para comparar situaciones de calidad, pero no para emitir juicio respecto de la misma, se correlacionaron los valores del BMWP con cinco grados de contaminación, asignándoles una significación de la misma en cada caso (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988), posteriormente se presentó una actualización del sistema (Alba-Tercedor, 1996). Con motivo de los trabajos relativos a la aplicación de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMA, Directiva 60/2000/CE) en España, se realiza el Proyecto GUADALMED, cuyos resultados se publican en el volumen 21 de la revista *Limnetica* (Armengol *et al.*, 2002), dónde se indica que el índice pasa a denominarse IBMWP (*Iberian Biomonitoring Working Party*) y se presenta una amplia revisión acerca de su uso.

Zamora (1999 y 2005) presenta una adecuación para Colombia del sistema BMWP teniendo como base estos trabajos y los realizados en Colombia sobre los MIB como bioindicadores de la calidad de las aguas epicontinentales (Roldán *et al.*, 1973; Roldán, 1980; Bohórquez y Acuña, 1984; Zúñiga de Cardozo, 1985; Roldán, 1988; Zamora, 1991; Bohórquez *et al.*, 1993; Zamora, 1993; Zúñiga de Cardozo, 1994; Zamora, 1995; Zamora-Muñoz *et al.*, 1995; Roldán, 1996; Zamora, 1996; Zamora y Alba-Tercedor, 1996; Ortega, 1998; Reinoso, 1998; Zamora, 1998 y 1999; Rada, 1999; Zamora y Sarria, 2001; Zamora, 2002 y Roldán, 2003). En la Tabla 7 se muestran las seis clases de aguas con sus correspondientes rangos de puntuación obtenidos sumando las puntuaciones correspondientes a la presencia de cada familia de la Tabla 8. En esta, encontramos las agrupaciones de órdenes, familias y su respectiva puntuación que va de acuerdo con el carácter bioindicador, reportado en los estudios efectuados en Colombia ya citados.

Tabla 7. Clases, rango de valores de puntuaciones, asignación de calidad y características para las aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP adaptado para Colombia por Zamora (1999 y 2005).

Clase	Rango	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	≥121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro
II	101 -120	Buena	Aguas limpias	Azul claro
III	61 - 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 - 60	Dudosa	Aguas Contaminadas	Amarillo
V	16 - 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas Fuertemente contaminadas	Rojo

#### 1.4.4 PRINCIPALES GRUPOS DE MIB EN LA ZONA DE ESTUDIO

Los principales grupos que componen el macrobentos de los ecosistemas acuáticos estudiados en esta tesis corresponden a los de la fauna de los ríos y quebradas de la región caucana y en concreto a la de los pisos altitudinales del Municipio de Santander de Quilichao. Fundamentalmente se trata de artrópodos, anélidos, moluscos, nematodos y platelmintos. A continuación se hace una breve descripción de los grandes grupos que esperamos encontrar *a priori*, teniendo en cuenta su taxonomía, ecología y distribución en el neotrópico. Mientras no se indique una cita específica, la información subsiguiente está extraída de las referencias comentadas en el apartado 1,3 “Antecedentes de la Limnología neotropical” y de los textos generales de Limnología.

##### **Phylum Platyhelminthes.**

Los turbelarios constituyen la clase de los Platelmintos cuyas formas son predominantemente de vida libre, son un grupo poco conocido en el neotrópico y por lo tanto no existen claves o guías para estos organismos en Suramérica. Al orden Tricladida, pertenecen las planarias, organismos ampliamente distribuidos en nuestro entorno. Las planarias presentan colores grises, pardos, amarillentos, blancos o negros y también presentan manchas de variados colores. La cavidad del cuerpo es típicamente gastrovascular y presenta una sola apertura que funciona como boca y ano a la vez; son carnívoros, pero también se alimentan de animales muertos y de algas, en menor proporción; su cuerpo está cubierto de una mucosidad secretada por glándulas subepidérmicas.

Los tricládidos son fuente de alimento para las ninfas de odonatos y otros insectos acuáticos, nemátodos, anélidos y algunos crustáceos; viven debajo de piedras, troncos, ramas, hojas y sustratos similares, en aguas poco profundas, tanto corrientes como estancadas; la mayoría vive en aguas bien oxigenadas. , pero algunas especies pueden resistir en zonas de alta contaminación de origen orgánico como *Dugesia* en el río Rionegro (Pérez y Roldán, 1978). Para el neotrópico se han reportado cerca de 17 especies de planarias, la mayoría del género *Dugesia* (Familia Planariidae), considerándose ésta la de mayor distribución en nuestro entorno (Ball, 1980).

### **Phylum Nemathomorpha.**

Por su forma de pelo se les conoce en inglés como *horse hair worms* y por ello se pueden confundir con fibras vegetales como zarcillos. Los adultos miden entre 10 y 70 cm de longitud, con un diámetro entre 0,3 y 2,5 mm; su coloración varía de blanco amarillento a pardo y gris oscuro; los machos son más pequeños y por lo regular presentan un enrollamiento en el extremo posterior; poseen tres estados: larval (libre), juvenil (parásito) y adulto (libre). La forma larval se enquista y es devorada por artrópodos acuáticos o terrestres; estos huéspedes se convierten en adulto y una vez alcanzada su madurez, perforan la pared abdominal cerca del ano y salen al agua donde se acoplan y ponen los huevos; el ciclo biológico puede durar un año; viven en corrientes limpias, adheridos a la vegetación y debajo de piedras en las orillas de ríos y quebradas; para completar su ciclo, es necesario que encuentren el hospedador. Para Colombia solo se ha reportado el género *Neochordodes* (Faus y Botero Ramos, 1960); debido a la falta de estudios para América del Sur, no existen claves adecuadas para su clasificación.

### **Phylum Annelida.**

Los anélidos de agua dulce pertenecen las clases Oligochaeta e Hirudinea.

- Clase Oligochaeta. Los oligoquetos acuáticos tienen la misma estructura que los terrestres; su alimentación consiste principalmente en algas filamentosas, diatomeas, bacterias y detritus de plantas y animales; según las especies la reproducción es asexual o sexual; la mayoría son característicos de aguas eutróficas, sobre fondos fangosos o limosos con abundante cantidad de detritus orgánicos donde el oxígeno escasea -básicamente son considerados detritívoros sedimentívoros e indicadores de las condiciones eutróficas tan a menudo ligadas a episodios de contaminación orgánica. También responden proliferando tras modificaciones físicas del hábitat bentónico al uniformizarse la granulometría del sedimento hacia las fracciones más finas de limos y arcillas (Rovira, com. pers.; Rovira, 1993; Marqués *et al.*, 2003). Los tubificidos viven enterrados en el sustrato fangoso del que obtienen su alimento, mientras que sacan la parte distal de su cuerpo y la baten para respirar; los Haplotixidae son en parte terrestres y en parte limícolas y son los oligoquetos más primitivos; los Glossoscolecidae, ampliamente distribuidos en América Tropical, viven sobre todo en ríos, quebradas, lagos y en otros cuerpos de agua dulce e incluso en suelos húmedos.
- Clase Hirudinea. Son las sanguijuelas; tienen tamaños que varían entre 5 mm y 45 cm de longitud (Pennak, 1978); su cuerpo es aplanado caracterizado por poseer una ventosa anterior que rodea la boca y otra posterior o caudal que utilizan para fijarse al sustrato y para desplazarse; su coloración varía desde el blanco o casi transparente hasta tonos oscuros, a menudo moteados o rayados; su cuerpo está formado por 34 segmentos, cada uno de los cuales posee un ganglio y un par de nervios; algunos se alimentan de residuos orgánicos pero la mayoría son carnívoros, alimentándose de caracoles, insectos, lombrices de agua y otros pequeños invertebrados; viven por lo regular en aguas lentas sobre troncos, plantas, rocas y residuos vegetales; toleran bajas concentraciones de oxígeno y son abundantes en aguas eutróficas. Están presentes en casi todos los países del mundo; en Suramérica se han reportado en casi todos los países, desde el nivel del mar hasta altitudes tales como las del lago Titicaca. Existen dos órdenes, siete familias y

alrededor de diecisiete géneros, siendo la familia Glossiphoniidae y sus géneros *Dacnobia*, *Hellobdella* y *Oligobdella* los más representativos (Roldán, 1992).

Tabla 8. Adaptación para Colombia del Sistema para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico BMWP (*Biological Monitoring Working Party Score System*), según Zamora (2005).

Ordenes	Familias	Puntos
Plecoptera Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Diptera Unionoida Acari Hidroidea	Perlidae. Oligoneuridae, Euthyplociidae, Polymtarcyidae. Odontoceridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Calamoceratidae, Hydroptilidae, Anomalopsychidae, Atriplectididae. Psephenidae, Ptilodactylidae, Lampyridae. Polythoridae. Blepharoceridae. Unionidae. Lymnysiidae. Hidridae.	10
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Diptera Gordioidae Lepidoptera Mesogastropoda Hirudiniiformes	Leptophlebiidae, Ephemeridae. Hydrobiosidae, Philopotamidae, Xiphocentronidae. Gyrinidae, Scirtidae. Gomphidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae. Simuliidae. Gordiidae, Chordodidae. Pyralidae. Ampullariidae. Hirudinae.	9
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Hemiptera Diptera Decapoda Basommatophora	Baetidae, Caenidae. Hidropsychidae, Leptoceridae, Helicopsychidae. Dytiscidae, Dryopidae. Lestidae, Calopterygidae. Pleidae, Saldidae, Gerridae, Veliidae, Hebridae Dixidae. Palaemonidae, Pseudothelphusidae. Chilinnidae.	8
Ephemeroptera Trichoptera Coleoptera Odonata Hemiptera Diptera Basommatophora Mesogastropoda Archeogastropoda	Tricorythidae, Leptohiphidae. Polycentropodidae. Elmidae, Staphylinidae. Aeshnidae. Naucoridae, Notonectidae, Mesovelidae, Corixidae. Psychodidae. Ancyliidae, Planorbidae. Melaniidae, Hydrobiidae. Neritidae.	7
Coleoptera Odonata Hemiptera Diptera Megaloptera Decapoda Anphipoda Tricladida	Limnichidae, Lutrochidae. Libellulidae. Belostomatidae, Hydrometridae, Gelastocoridae, Nepidae. Dolichopodidae. Corydalidae, Sialidae. Atyidae. Hyalellidae. Planariidae, Dugesidae.	6
Coleoptera Diptera Basommatophora	Chrysomelidae, Haliplidae, Curculionidae. Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae. Thiaridae.	5
Coleoptera Diptera Basommatophora	Hidrophilidae, Hydraenidae, Noteridae. Tipulidae, Ceratopogonidae. Limnaeidae, Sphaeridae.	4
Diptera Basommatophora Glossiphoniiformes	Culicidae, Muscidae, Sciomizidae. Physidae. Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Cylicobdellidae.	3
Diptera Haplotaxida	Chironomidae, Ephydriidae, Syrphidae. Todas las familias (excepto <i>Tubifex</i> )	2
Haplotaxida	Tubificidae ( <i>Tubifex</i> )	1

## **Phylum Mollusca.**

Se divide en gasterópodos y bivalvos.

- Clase Gastropoda. La mayoría son herbívoros, se alimentan de algas y residuos vegetales; sirven de alimento principalmente a peces, patos, anfibios y aves; pueden ser atacados por sanguijuelas y larvas de hemípteros, coleópteros y odonatos. Su sangre es bombeada por un corazón y poseen un compuesto a base de cobre que transporta el oxígeno (Roldán, 1996). Existen individuos hermafroditas, pero en otros los sexos están separados; los huevos son depositados en masas gelatinosas sobre rocas, palos y hojas; su número varía con la especie, lo mismo que su tamaño que puede ser entre 2 y 70 mm; su período de vida varía entre 9 y 15 meses (Pennak, 1978). Viven por lo regular en aguas duras y alcalinas, con abundante materia orgánica en descomposición; abundan en lagos, ríos y en plantas de tratamiento de aguas residuales, como sucede con el género *Physa* que puede sobrevivir en lugares con vegetación acuática y restos orgánicos. En Suramérica se ha reportado una amplia distribución para las familias Neritidae, Melaniidae, Chilnidae, Lymnacididae, Physidae, Ancyliidae y Planorbidae (Paraense, 1981).
- Clase Bivalvia. Su color puede ser negro, pardo claro o verde, son filtradores de plancton y detritus; es frecuente encontrarlos enterrados en el sustrato o anclados a la vegetación acuática; por lo general viven en aguas limpias poco contaminadas; su tamaño es de unos 2-180 mm de largo, siendo los Pisidiidae los más pequeños y los Anodontitinae (*Anodontites*) los más grandes. En los Unionoida, los gametos femeninos son retenidos en las hemibranchias internas donde son fertilizados por los gametos masculinos y en el marsupio incuban los embriones; después de la incubación expelen las larvas gloquidios, que pueden ser parásitos o de vida libre, según la especie; en los Muteloidea sus larvas son lasidios y son parásitos de peces lo que permite su dispersión (Pennak, 1978). Los bivalvos de agua dulce se encuentran tanto en aguas lóxicas como lenfáticas; los Unionoidae son más abundantes en ambientes fangosos. Están ampliamente distribuidos en el neotrópico, siendo las familias más importantes: Iridea (*Prisodon*, *Castallia*, *Diplodon* y *Diplodontites*) y Mycetopodidae (*Byssanodonia* y *Eupera*). Para Colombia se reporta dentro de la familia Unionidae, los siguientes géneros y especies: *Acostea rivolii*, *Anodontites trapezialis*, *Mycetopoda siligiosa*, *Castallia ecarinata*, *Musculium sp.*, *Diplodontites cookeii*, *Polymesoda placens* y *Triplodon jamauchicensi* (Roldán, 1992).

## **Phylum Arthropoda.**

Es el grupo más extenso y abundante de macroinvertebrados acuáticos con tres clases: Crustacea, Insecta y Arachnoidea.

- Clase Crustacea. Se trata de un grupo grande y diversificado en las aguas dulces. Los cladóceros y copépodos son prácticamente microscópicos. Los anfípodos comprenden varios subórdenes dentro de los cuales está Gammaridea, al que pertenece la familia Hyalellidae, género *Hyalella*, muy común en los ecosistemas acuáticos tropicales enriquecidos con materia orgánica. A los decápodos pertenecen los cangrejos y camarones de río. En el neotrópico los más representativos son Palaemonidae, con los géneros *Macrobrachium* y *Atydae*, y los camarones

del género *Atya*; la familia Tricodactylidae con el género *Valdivia* y los cangrejos de la familia Pseudothelphusidae (Roldán, 1992).

- Clase Insecta. Comprende nueve órdenes que constituyen la fauna más representativa de lagos y ríos.
  - Orden Ephemeroptera. Generalmente depositan sus huevos sobre la superficie del agua, poseen estructuras que les permiten fijarse al sustrato; respiran mediante branquias, generalmente abdominales, las cuales varían de forma y número de acuerdo a la especie; la mayoría viven entre 3 y 4 días, en aguas corrientes limpias bien oxigenadas; solo algunas especies pueden resistir cierto grado de contaminación orgánica. Sus ninfas se encuentran normalmente adheridas a rocas, hojas, troncos o a la vegetación sumergida; algunas pocas especies se encuentran enterradas en fondos arenosos o fangosos. Son herbívoros alimentándose de algas y tejidos vegetales; son alimento de peces. Los géneros más representativos para el neotrópico son *Baetis*, *Baetodes*, *Campsurus*, *Dactylobaetis*, *Euthyplocia*, *Lachlania*, *Leptohyphes*, *Thraulodes* y *Tricorythodes* (Roldán, 1992).
  - Orden Odonata. Ponen sus huevos sobre la vegetación flotante o emergente y eclosionan entre 5 y 40 días después; la mayoría de las especies neotropicales completan su desarrollo larval entre 100 y 200 días (Corbet, 1980). Viven en corrientes lentas y poco profundas, pero también pueden encontrarse en pozos, pantanos y en márgenes de lagos de aguas limpias o ligeramente eutróficas. Son en general grandes depredadores y resistentes a la contaminación orgánica (Arango y Roldán, 1983). Solo 4 familias son exclusivamente neotropicales: Heliochoritidae, Perilestidae, Polythoridae y Pseudostigmatidae. Libellulidae presenta una amplia distribución, con sus géneros: *Brechmorhoga*, *Dythemis*, *Erythemis*, *Erythrodiplax*, *Micrathyria*, *Myathyria*, *Orthemis*, *Pantala* y *Perithemis*. Otras familias comunes son: Aeshidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Gomphidae y Lestidae (Roldán, 1992).
  - Orden Plecoptera. Su tamaño varía entre 10 y 30 mm; Son de color negro, café oscuro, pardo o amarillo pálido; poseen largas antenas, branquias torácicas ventrales y a veces anales. Ponen los huevos sobre el agua, durante el vuelo; la eclosión y la emergencia de las ninfas no es bien conocida en los trópicos. Viven en aguas de corrientes fuertes y bien oxigenadas, bajo las piedras, troncos, ramas y hojas. En el neotrópico, la familia predominante es Perlidae con su género *Anacroneuria* (Zamora y Roessler, 1995. Roldan,1992).
  - Orden Neuroptera (Megaloptera). Comprende solo dos familias Sialidae y Corydalidae; esta última es la de más amplia distribución en el neotrópico y su tamaño varía de 10 a 70 mm; el género *Corydalus* representa una de las larvas más grandes que se encuentran en el agua; de coloración oscura, poseen un par de mandíbulas fuertes y grandes y un par de propatas anales que las diferencian de la otra familia. Viven en aguas corrientes limpias, debajo de troncos, vegetación sumergida y de piedras; son grandes depredadores y los pescadores lo usan como carnada para la pesca. Se pueden considerar indicadores de aguas oligotróficas o levemente mesotróficas (Roldán, 1992).

○ Orden Hemiptera (Heteroptera). Poseen un pico chupador insertado cerca del extremo anterior de la cabeza, lo que les permite ser grandes depredadores de otros insectos acuáticos. Las alas posteriores son totalmente membranosas, en cambio las anteriores son de consistencia dura en su posición basal; existe polimorfismo alar en la mayoría de las familias y es frecuente encontrar dentro de una misma especie individuos macrópteros, braquípteros y ápteros. Realizan la puesta sobre el sustrato, plantas, suelo o sobre el dorso de los machos (*Belostoma*). Viven en remansos de ríos y quebradas y en ecosistemas leníticos con abundante vegetación; pocos resisten las corrientes fuertes. Algunas especies resisten cierto grado de salinidad y las elevadas temperaturas de aguas termales. Las especies más grandes pueden incluso alimentarse de pequeños peces y crustáceos. En el neotrópico son comunes las familias Belostomatidae, (género *Belostoma* y *Lethocerus*), Corixidae (género *Centrocorisa*), Gerridae (géneros *Eurygerris*, *Limnogonus* y *Trepobates*), Naucoridae (géneros *Limnocoris* y *Ambrysus*), Notonectidae (género *Buenoa*), Mesoveliidae (género *Mesovelgia*), y Veliidae (género *Rhagovelia*) (Roldán, 1992).

○ Orden Coleoptera. Presentan antenas visibles y se diferencian en la forma y el número de segmentos; las partes bucales se pueden observar fácilmente y se puede determinar su nicho ecológico según la forma de las mandíbulas. Las alas están modificadas en élitros, los cuales cubren dorsalmente el tórax y el abdomen. Depositán los huevos en el agua, sobre la vegetación acuática, en rocas o gravas o sobre troncos o ramas en descomposición; en muchas especies los huevos eclosionan a los 8 días y las larvas pueden permanecer hasta 60 días (en laboratorio), para luego transformarse en pupas y luego en adultos, como es el caso de los élmidos. Los adultos pasan por un período corto de vuelo. Bajo condiciones naturales el ciclo de vida puede durar de 1 a 2 años (Spangler, 1981). La mayoría viven en aguas lólicas y leníticas; en estas últimas se encuentran en las zonas ribereñas, nadando libremente en la superficie o sobre la vegetación; en las zonas lólicas sus sitios preferidos son piedras, gravas, arenas, troncos y hojas en descomposición. Abundan en aguas someras, donde la velocidad de la corriente no es fuerte, en aguas limpias con concentraciones de oxígeno altas y temperaturas medias. Pueden ser herbívoros, carnívoros y detritívoros. En el trópico se han reportado 17 familias, las más comunes son Dytiscidae (géneros *Rhantus* y *Thermonectus*), Elmidae (géneros *Cylloepus*, *Disersus*, *Elsianus*, *Heterelmis*, *Macrelmis* y *Mycrocylloepus*), Gyrinidae (género *Andogyrus*), Lutrochidae (género *Lutrochus*), Limnichidae (género *Eulimnichus*), y Psephenidae (género *Psephenops*) (Roldán, 1992).

○ Orden Trichoptera. Sus larvas viven en todo tipo de hábitat, pero en los lólicos fríos es donde presentan mayor diversidad. Se alimentan de material vegetal y las algas que encuentran sobre las rocas; algunas son depredadoras. Requieren de uno a dos años para su desarrollo, pasando por cinco a siete estadios; la etapa pupal dura de dos a tres semanas, son muy activos en las primeras h de la noche. Las hembras depositan los huevos en el agua y los encierran en una masa gelatinosa. Construyen refugios de formas variadas, los que están fijos al sustrato les sirven de protección y captura de alimento, los transportables les sirven de protección y de movimiento en busca de oxígeno y alimento. Viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas,

debajo de piedras, material vegetal y troncos; algunas especies son de aguas quietas y de remansos de ríos y quebradas; en general son indicadores de aguas oligotróficas. En el trópico americano, las familias más comunes son Calamoceratidae (género *Phylloicus*), Glossosomatidae (géneros *Protophila* y *Mortoniella*), Helicopsychidae (género *Helicopsyche*), Hydropsychidae (géneros *Leptonema* y *Smicridea*), Leptoceridae (géneros *Atanotolca*, *Nectopsyche*, *Triplectides* y *Grumichella*), Hidrobiosidae (género *Atopsyche*), y Odontoceridae (género *Marilia*)

- Orden Lepidoptera. Es el grupo más desconocido del neotrópico. Las larvas fabrican una especie de capullo de seda a través del que puede circular el agua. Las hembras adultas depositan los huevos en grupos en el agua, sobre rocas y en corrientes rápidas. La familia Pyralidae tiene cabeza prognata y abdomen y tórax con numerosas branquias filamentosas dorsolaterales; poseen propatas abdominales rodeadas de ganchos curvos en posición ventral y pronatas anales. Viven en aguas rápidas muy oxigenadas, bajo telas sedosas tejidas sobre la superficie de rocas sumergidas y se alimentan de algas; se pueden considerar indicadores de aguas oligotróficas (Munroe, 1981). En el neotrópico solo se ha reportado la familia Pyralidae y los géneros *Piralide*, *Petrophila* y *Parapoynx*, como los de más amplia distribución (Roldán, 1992).

- Orden Diptera. Incluye una serie de familias cuyas fases inmaduras son acuáticas, algunas de las cuales presentan adultos picadores y chupadores de sangre de mamíferos, transmitiendo enfermedades. Tienen solo el par de alas anterior, habiendo transformado las alas posteriores en balancines. Sus larvas tienen formas muy diversas, lo que les ha permitido adaptarse a todo tipo de hábitats. La mayoría pasa por tres a cuatro instar; el período de desarrollo larval puede ser de una semana como en Simuliidae o hasta de un año como en Tipulidae. Las larvas se caracterizan por la ausencia de patas torácicas. El cuerpo está formado por tres segmentos torácicos y nueve abdominales, es blando y cubierto de cerdas, espinas apicales o una corona de ganchos en prolongaciones que ayudan a la locomoción y a la adhesión al sustrato. Se encuentran en lagos, embalses, quebradas, ríos, brácteas de bromeliáceas y demás plantas que acumulan agua, en orificios de troncos viejos y en las costas marinas. Según Bedoya y Roldán (1984) los simúlidos viven en aguas muy limpias y oxigenadas y los quironómidos en aguas muy contaminadas. En el neotrópico se han reportado veinte familias, las más importantes son Blephariceridae (géneros *Limnicola*, *Paltostoma*, *Kelloggina* y *Edwardsina*), Ceratopogonidae (géneros *Culicoides*, *Probezzia* y *Stilobezzia*), Chironomidae (género *Chironomus*), Simuliidae (género *Simulium*), Culicidae (géneros *Anopheles*, *Culex* y *Aedes*), Muscidae (géneros *Lispe* y *Limnophora*), Psychodidae (género *Maruina*), Tabanidae (géneros *Tabanus* y *Chrysops*), y Tipulidae (géneros *Tipula*, *Limonia* y *Hexatoma*) (Bedoya y Roldán, 1984).

## 2. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

### 2.1 LEGISLACIÓN AMBIENTAL INTERNACIONAL Y COLOMBIANA

La preocupación por el impacto de la actividad humana sobre los recursos naturales es muy reciente; en la década de 1970 no era un tema importante para la mayoría de la sociedad. Hasta hace poco solo existía una conciencia del problema en el llamado Norte económico, que incluye Europa occidental, Norte de América, Australia, Nueva Zelanda y Japón, dada la fuerte degradación ambiental que se había producido ya en sus territorios.

En 1972 el equipo dirigido por Dennis Meadows, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, elaboró por encargo del Club de Roma el informe titulado: "*Los límites del crecimiento*". En él se expresaba por primera vez la idea de que este planeta no era capaz de soportar un crecimiento económico infinito y que era necesario que se consideraran los límites ecológicos de la tierra (Meadows *et al.*, 1972)

En la conferencia de Estocolmo de 1972, se realizó la primera reunión organizada por la ONU para abordar el tema del medio ambiente; los científicos allí reunidos hicieron suyas las conclusiones del informe anterior y denunciaron la degradación ambiental causada por la actividad humana. Igualmente reconocieron la necesidad de que el desarrollo económico tuviera en cuenta los límites ecológicos del planeta, proponiendo lo que se denominó ecodesarrollo (Maldonado, 1972).

La preocupación por las relaciones entre la economía y el medio ambiente se extendió entre las ciencias naturales y en menor grado entre los economistas. Durante la década de los 80, se popularizó entre los especialistas el concepto de desarrollo sostenible es decir, aquel desarrollo que no pusiera en peligro el bienestar de las generaciones futuras y que por lo tanto fuera respetuoso con el medio. Poco a poco la idea de que la actividad económica debía compatibilizarse con la conservación del ambiente fue extendiéndose (Cimadevilla, 2004).

En 1992 el equipo de Meadows publicó un nuevo libro, titulado: "*Más allá de los límites del crecimiento*". En él se expresaba no solo que las previsiones del informe anterior se habían cumplido, sino que ya se habían sobrepasado la carga del planeta; en opinión de los autores, el colapso de la sociedad actual tardaría en llegar unos cincuenta años. El mercado no contempla el daño al ambiente porque no repercute rápidamente en el precio del producto. Dichos daños constituyen una externalidad, es decir un gasto no incluido en el precio y que por lo tanto tiende a minimizarse por parte de las industrias. El Estado, como elemento corrector del mercado, puede obligar a internalizar estos gastos mediante impuestos (Meadows *et al.*, 1992).

Entre el 3 y el 14 de junio de 1992 se celebró en Río de Janeiro (Brasil), la segunda Conferencia de las Naciones Unidas para el medio ambiente y el desarrollo, también conocida como Conferencia de Río o Cumbre de la Tierra. Asistieron delegaciones de 178 Estados en la mayoría de los casos presididas por sus respectivos jefes de Estado; así como 2800 organizaciones no gubernamentales, que desarrollaron una reunión paralela denominada Forum Global (del 1 al 12 de junio). En la reunión oficial se firmaron 3 tratados de alcance global sobre el clima, los bosques y la

biodiversidad; se elaboró la Declaración de Río sobre medio ambiente y desarrollo y se aprobó la Agenda 21, un acuerdo no vinculante que recogía los medios por los que se podría lograr un desarrollo equilibrado más allá del año 2000 (Brown, 1993).

Las primeras normas colombianas para reglamentar acerca de los recursos naturales aparecen en la Ley 113 del 21 de noviembre de 1928, sobre "*Estudio Técnico y Aprovechamiento de Corrientes y Caídas de Agua*". Posteriormente en el Decreto N° 1381 y 1382 del 17 de julio de 1940, por el que se dictan algunas disposiciones sobre aprovechamiento, distribución y conservación de aguas de uso público; en el Decreto 0541 del 25 de febrero de 1952, que reorganiza la división de recursos naturales del Ministerio de Agricultura; y la Ley 002 del 16 de diciembre de 1959, sobre Economía Forestal de la Nación y Conservación de los Recursos Naturales Renovables. En esta misma década del 50 se crea el primer organismo ambiental del país, la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC), de acuerdo con el Acto Legislativo número 5 de 1954 por medio del Decreto 3110 del 22 de Octubre de 1954 (desde 1994, cambia su nombre por de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca).

En la década del 60 se crean 4 Corporaciones Regionales más y el Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA), por Decreto 0842 del 26 de mayo de 1969.

La normatividad de la década del 70 es fiel reflejo y consecuencia de la Conferencia de Estocolmo: Decreto 1040 del 4 de junio de 1973, por el cual se crea el Consejo Nacional de Población y Medio Ambiente; Ley 23 del 12 de diciembre de 1973, que concede facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente; Decreto 2811 del 31 de diciembre de 1974, por el que se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente; Decreto 1541 del 26 de julio de 1978, que reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y la Ley 23 de 1973; Decreto 1681 del 4 de agosto de 1978, que reglamenta la Parte X del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974, que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley 23 de 1973 y el Decreto-Ley 376 de 1957 y el Decreto 1715 del 4 de agosto de 1978, por el cual se reglamentan parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto-Ley 154 de 1976, en cuanto a Protección del Paisaje.

En la década del 80 sigue apareciendo legislación ambiental: Decreto 2857 del 13 de octubre de 1981, por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974, sobre Cuencas Hidrográficas; Decreto 0002 del 11 de enero de 1982, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto-Ley 2811 de 1974, en cuanto a Emisiones Atmosféricas; Decreto 2104 del 26 de julio de 1983, por el cual se reglamenta parcialmente el Título III de la Parte IV del Libro I del Decreto-Ley 2811 de 1974 y los Títulos I y XI de la Ley 9 de 1979, en cuanto a Residuos Sólidos y el Decreto 1594 del 26 de junio de 1984, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI Parte III Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto-Ley 2811 de 1974, en cuanto a Usos del Agua y Residuos Líquidos.

La Conferencia de Río motiva mucho la normatividad de la década del 90: Ley 99 del 22 de diciembre de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones; Ley 164 del 27 de octubre de 1994, por el cual se aprueba la "*Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*", hecha en New York el 9 de Mayo de 1992; Ley 165 del 9 de noviembre de 1994, por el cual se aprueba el "*Convenio sobre la Diversidad Biológica*", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992; Decreto 1865 del 3 de agosto de 1994, por el cual se regulan las regionales ambientales de las Corporaciones Autónomas Regionales y de las de Desarrollo Sostenible y su armonización con la gestión ambiental territorial; Ley 306 del 5 de agosto de 1996, por medio del cual se aprueba la "*Enmienda de Copenhague al Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*", suscrito en Copenhague, el 25 de noviembre de 1992; Ley 373 del 6 de junio de 1997, por el cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua y Ley 430 de enero 16 de 1998, por el cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Toda esta normatividad puede consultarse en la página Web del Ministerio del Medioambiente de la República de Colombia: <http://web.minambiente.gov.co/normatividad/applet/>.

## 2.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Con la Ley 99 de 1993, que crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente; posteriormente se dictan los decretos que reglamentan esta ley como es el Decreto 901 de 1997, que en su artículo 6 establece que el Consejo Directivo de las Corporaciones Autónomas Regionales es el órgano encargado de determinar las metas de reducción de carga contaminante en el territorio de su jurisdicción. En desarrollo de lo establecido por este decreto, la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) estableció un Plan de Acción para trabajar con los municipios e industrias que producen mayor contaminación en las fuentes de aguas, seleccionando 17 municipios de la Cuenca del río Cauca. Se desarrolló la siguiente metodología para llegar a la concertación de metas de reducción de aguas residuales:

- 1) Divulgación del Decreto 901;
- 2) Inventario de usuarios y cargas contaminantes;
- 3) Diagnóstico de cargas contaminantes;
- 4) Definición de subcuencas y tramos;
- 5) Organización de las mesas de concertación;
- 6) Proceso de concertación en mesas.

Es en este marco de acción que esta Tesis Doctoral juega un papel muy importante para la caracterización de la agroindustria del almidón de yuca y de sus aguas residuales en el municipio de Santander de Quilichao.

El interés que suscitó este estudio determinó que varias instituciones académicas y regionales se comprometieran a apoyarlo. La Alcaldía Municipal de Santander de Quilichao y la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) destinaron recursos de su presupuesto para su realización. En los laboratorios de aguas de esta última institución además se realizaron los análisis fisicoquímicos y en su departamento SIG (Sistema de Información Geográfica) la localización de las rallanderías en el mapa del municipio. En la Universidad del Valle se hicieron algunos análisis químicos y en la Universidad del Cauca se clasificaron y determinaron los macroinvertebrados y la vegetación. En los laboratorios del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se determinaron los contenidos de CN total en las raíces de yuca y con sus recursos fue posible la filmación de la zona de estudio. También colaboraron en la encuesta y la localización de las rallanderías, como también lo hizo CORPOTUNIA (Corporación para el Desarrollo de Tunia).

### 2.3 OBJETIVOS

Los objetivos que nos propusimos al realizar esta Tesis Doctoral son los siguientes: caracterizar los vertidos líquidos de las rallanderías de yuca existentes en el municipio de Santander de Quilichao (Cauca, Colombia) que estén dedicadas a la producción de almidón agrio de yuca, prestando especial atención a su contenido en cianuro, para así poder:

- 1) valorar el impacto que dichos vertidos pudieran tener sobre los ecosistemas acuáticos receptores (las quebradas);
- 2) proponer mejoras en las prácticas de gestión de la agroindustria del almidón de yuca para integrarlas en un programa para el desarrollo sostenible del municipio; y
- 3) conseguir la información ambiental necesaria para sentar las bases para una rehabilitación ecológica de los ecosistemas acuáticos del Municipio de Santander de Quilichao.

### 3. EL TERRITORIO

La zona de estudio se encuentra localizada en el Municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca, Colombia. Este Departamento está en la zona sur occidental del país en plena cordillera Andina y el municipio al norte del mismo (Fig. 16).

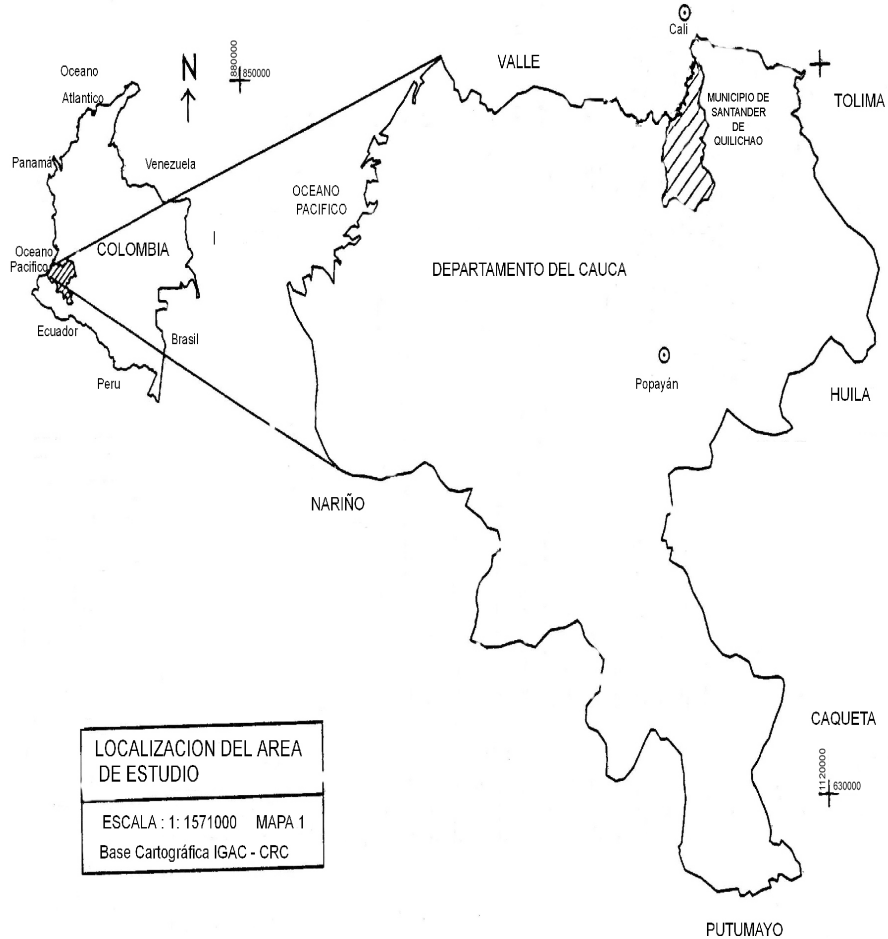
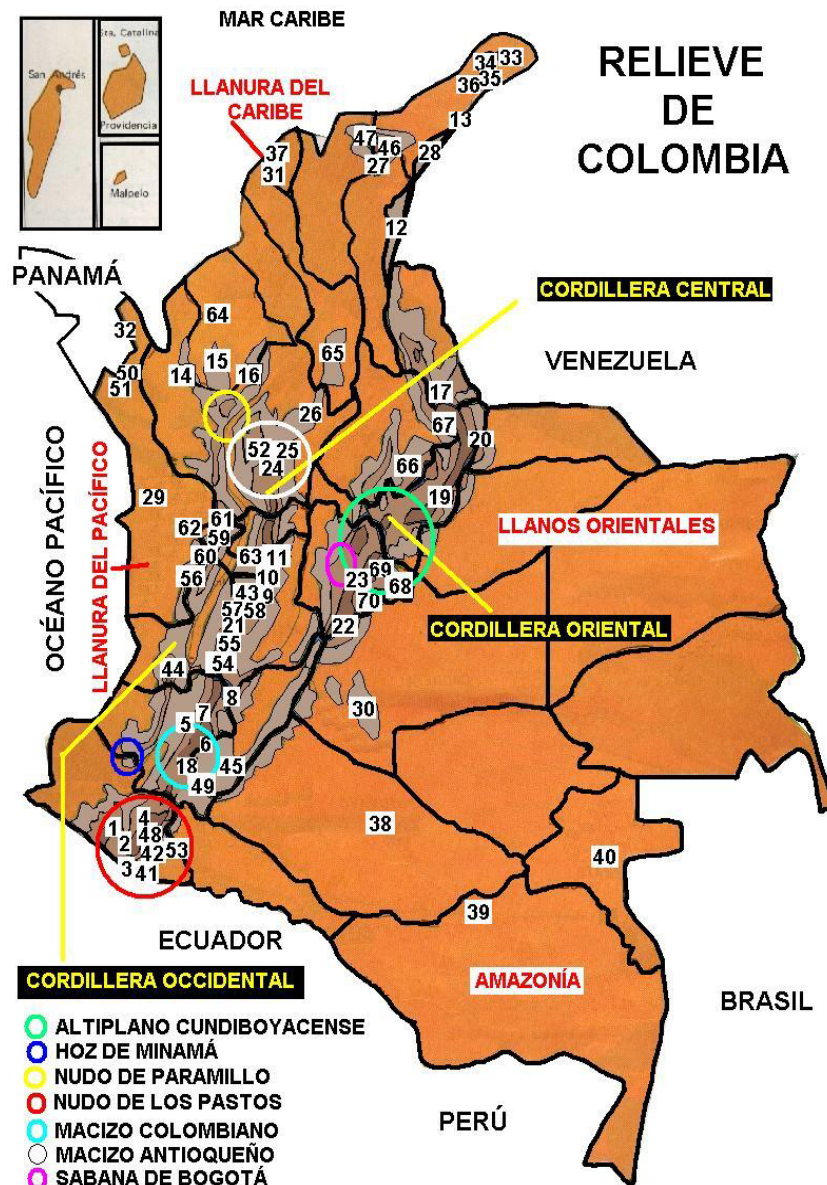


Figura 16. Localización del Municipio de Santander de Quilichao en el Departamento del Cauca, República de Colombia.

El sistema montañoso colombiano forma parte de la gran cordillera Andina de Suramérica. Los Andes colombianos se inician a partir del nudo de Los Pastos o de Huaca, al sur del departamento de Nariño, destacándose en él las altiplanicies de Ipiales, Túquerres y Pasto, así como numerosos volcanes tales como los de Cumbal, Azufral y Galeras (Fig. 17). En el nudo de Los Pastos, los Andes se bifurcan, dando origen a las cordilleras Occidental y Central, separadas por los ríos Guáitara y Patía. Más al norte la cordillera Central forma el Macizo Colombiano o nudo de Almaguer, de gran extensión y alturas destacadas como las del volcán de Sotará y los nevados de Coconucos (García, 2003).



1.Volcán Azufral, 2.Volcán Cumbal, 3.Volcán Chiles, 4.Volcán Galeras, 5.Volcán Sotará, 6.Nevado de Coconucos, 7.Volcán Puracé, 8.Nevado del Huila, 9.Nevado del Tolima, 10.Nevado de Santa Isabel, 11.Nevado del Ruiz, 12.Sierra de Perijá, 13.Montes de Oca, 14.Serranía de Abibe, 15.Serranía de San Jerónimo, 16.Serranía de Ayapel, 17.Nudo de San Turban, 18.Páramo de Las Papas, 19.Páramo de Pisba, 20.Sierra Nevada del Cocuy, 21.Cerro Miraflores, 22.Nevado de Sumapaz, 23.Páramo Boquerón de Chipaque, 24.Serranía de Santo Domingo, 25.Serranía de Yolombó, 26.Serranía de Remedios, 27.Sierra Nevada de Santa Marta, 28. Serranía de Valledupar, 29. Serranía de Baudó, 30.Sierra de La Macarena, 31.Montes de María, 32.Serranía del Darién, 33.Serranía de Macuira, 34.Serranía de Jará, 35.Serranía de Simarúa, 36.Serranía de Cosinas, 37.Serranía de Piojó, 38.Meseta de Iguaje, 39.meseta de Araracuara, 40.Meseta de Yambí, 41.Meseta de Ipiales, 42.Meseta de Pasto, 43.Nevado del Quindío, 44.Farallones de Cali, 45.Timaná, 46.Pico de Simón Bolívar, 47.Pico de Cristóbal Colon, 48.Meseta de Túquerres, 49.Picos de la Fragua, 50.Cerro de Aspavé, 51.Serranía del Pacífico, 52.Meseta de Santa Rosa de Osos, 53.Volcán Doña Juana, 54.Páramo de Chinche, 55.Páramo de Las Hermosas, 56. Serranía de Los Paraguas, 57.Páramo Barragán, 58.Páramo Chili, 59.Alto de Las Palomas, 60.Cerro Tamaná, 61.Cerro Caramanta, 62.Farallones de Citará, 63.Nevado El Cisne, 64. Serranía de Las Palomas (Córdoba), 65 Serranía de San Lucas, 66.Páramo de La Rusia, 67.Páramo del Almorzadero, 68. Serranía de Las Palomas (Cundinamarca), 69.Farallones de Medina, 70.Páramo de Chingaza.

Figura 17. Mapa del relieve de Colombia donde podemos apreciar las tres cordilleras (Occidental, Central y Oriental), las cuatro llanuras (Pacífica, Caribe, Llanos Orientales y Amazonía) y sus más importantes regiones (García, 2003).

La cordillera Occidental con una altitud media de 2000 m es la más baja de las cordilleras colombianas y la segunda en longitud. Sus mayores altitudes se localizan al sur, en los volcanes de Chiles (4761 m), Cumbal (4890 m) y Azufral (4070 m) y al norte en el nudo de Paramillo. Su máxima

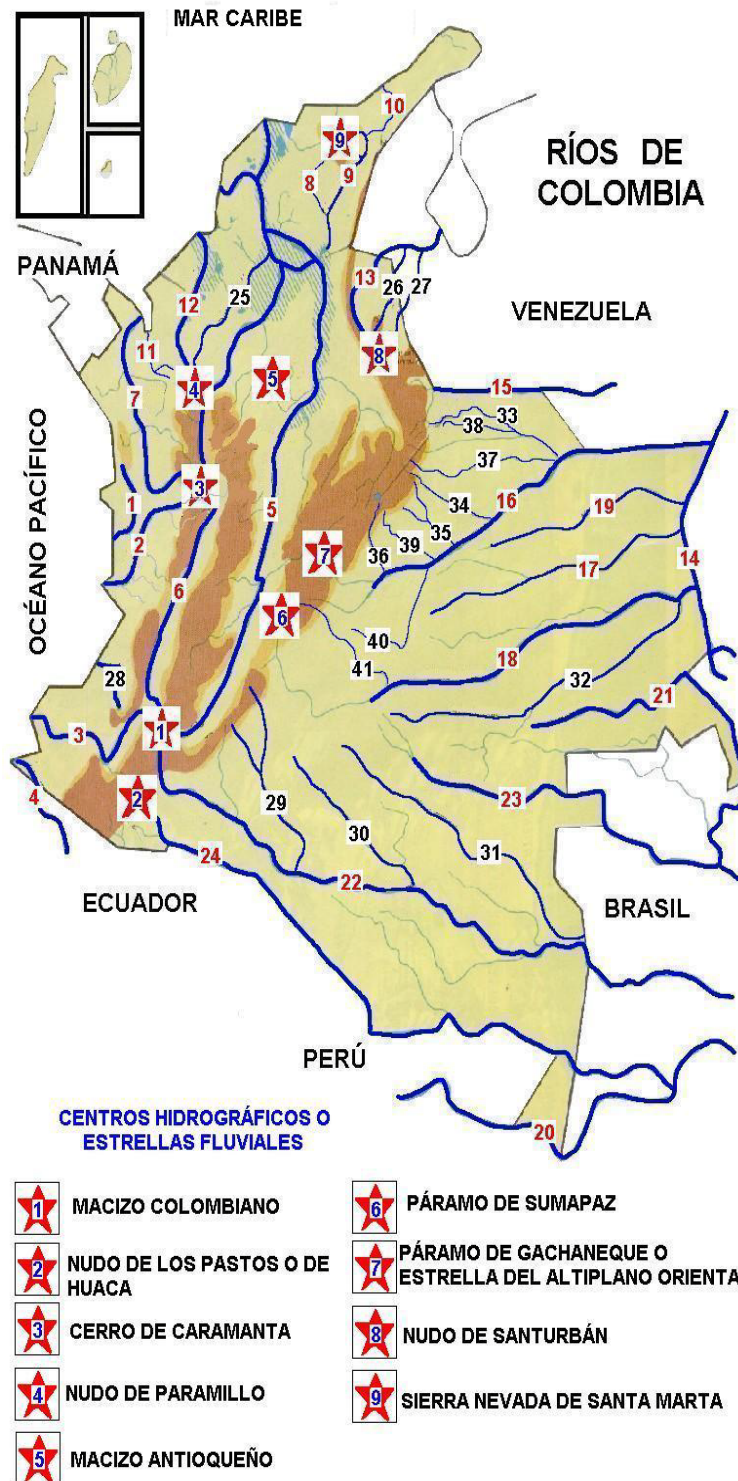
depresión la constituye la Hoz de Minamá, originada por el río Patía. En el nudo de Paramillo, la cordillera se abre en tres ramales o cordones, el de Abibe al occidente, San Jerónimo al centro y Ayapel al oriente.

La cordillera Central presenta una longitud de 1000 km y una altitud media de 3000 m. Se extiende entre el nudo de Los Pastos y la costa del Atlántico. Es la más alta y volcánica de las cordilleras y la de menor longitud. Sus características morfológicas predominantes son sus grandes elevaciones, especialmente los volcanes y sus numerosos páramos. Los volcanes Galeras (4266 m), Sotará (4580 m), Puracé (4700 m) y los nevados del Huila (5750 m), Tolima (5215 m), Santa Isabel (5100 m), Ruiz (5400 m) y el páramo de las Papas (4200 m) son varios de sus accidentes más destacados. En el departamento de Antioquia forma el Macizo Antioqueño y se bifurca al norte de éste, en los ramales de Santo Domingo, Yolombó y Remedios, para terminar en la costa del Atlántico.

La cordillera oriental es la más extensa de las tres cordilleras con 1200 km de curso, la más joven geológicamente y la más ancha. Se inicia en el Macizo Colombiano y termina en La Guajira. Destacan en esta cordillera también llamada de Sumapaz, el altiplano cundiboyacense, así como el nudo de Santurbán (3709 m), donde se bifurca para dar origen a la sierra de Los Motilones o de Perijá, a la serranía de Valledupar y a los montes de Oca, al occidente; la rama oriental penetra luego en Venezuela, donde se denomina cordillera de Mérida. Sus accidentes principales, fuera de los ya nombrados, son los picos de la Fragua, el cerro Miraflores, el nevado de Sumapaz (3820 m) y los páramos de Pisba (3900 m), Boquerón de Chipaque (3223 m) y Sierra Nevada del Cocuy (5493 m), su máxima altura. En los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander adquiere su mayor anchura (300 km).

El relieve hace que los ríos de Colombia corran en distintas direcciones: unos hacia el Pacífico, otros hacia el Caribe y algunos pocos hacia el golfo de Maracaibo, en Venezuela (Fig. 18). Esta distribución permite distinguir en Colombia cuatro vertientes: océano Pacífico, mar Caribe, río Orinoco y río Amazonas (García, 2003).

La vertiente del mar Caribe es la más importante de Colombia en el aspecto económico. Esto se debe a lo dilatado del curso de los ríos que la integran, lo cual ha facilitado las comunicaciones entre la costa y buena parte del interior y a la generación de energía eléctrica en su parte alta. Está alimentada por las tres cordilleras Andinas, en especial por el llamado Macizo Colombiano o Estrella Fluvial Colombiana. Este Macizo que está conformado por un complejo geohidrológico de 362 cuerpos lagunares de alta Montaña y 13 páramos, presenta ecosistemas singulares con abundante flora y fauna y compromete a los departamentos del Cauca, Caquetá, Huila, Nariño, Putumayo, Tolima y Valle.



1-río Baudó, 2-río San Juan, 3-río Patía, 4-río Mira, 5-río Magdalena, 6-río Cauca, 7-río Atrato, 8-río Fundación, 9-río Cesar, 10-río Ranchería, 11-río León, 12-río Sinú, 13-río Catatumbo, 14-río Orinoco, 15-río Arauca, 16-río Meta, 17-río Vichada, 18-río Guaviare, 19-río Tomo, 20-río Amazonas, 21-río Negro o Guainía, 22-río Caquetá, 23-río Vaupés, 24-río Putumayo, 25-río San Jorge, 26-río Sardinata, 27-río Zulia, 28-río Micay, 29-río Caguán, 30-río Yará, 31-río Apaporis, 32-río Inírida, 33-río Casanare, 34-río Cravo Sur, 35-río Cusiana, 36-río Upia, 37-río Guachiría, 38-río Ariporo, 39-río Túa, 40-río Manacacias, 41-río Ariari.

Figura 18. Mapa donde se aprecian las tres cordilleras, los centros hidrográficos o estrellas fluviales y los principales ríos de Colombia (García, 2003).

Los ríos que vierten sus aguas al mar Caribe o de las Antillas corren de sur a norte entre los grandes valles interandinos. Entre los más notables están el río Magdalena y el Cauca que representan el

sistema fluvial de mayor importancia en Colombia, no sólo por ser el de mayor extensión, sino especialmente por la riqueza económica de las tierras que comprende.

El río Magdalena tiene una longitud de 1558 km de los cuales son navegables 1290 interrumpidos en el salto de Honda. Sus aguas corren de sur a norte entre las cordilleras Central y Oriental, es el río interandino de mayor extensión en Suramérica; arroja al mar 8000 m<sup>3</sup>/s, su cuenca tiene 256 622 km<sup>2</sup> de superficie. Recibe las aguas de cerca de 500 afluentes por ambas orillas y más de 5000 arroyos y quebradas. Sirve de lazo de unión entre los diversos pueblos de los territorios que recorre, desde su nacimiento en la laguna de la Magdalena, en el páramo de las Papas (Macizo Colombiano) a 3685 m de altitud, hasta su desembocadura en el mar Caribe en las Bocas de Ceniza. Barranquilla destaca como el primero de sus puertos y le siguen en importancia, La Dorada, Puerto Berrío, Barrancabermeja, Puerto Wilches, Magangué, El Banco y Girardot. El Magdalena está comunicado con el puerto marítimo de Cartagena a través del canal del Dique, obra humana de 105 km de longitud. El Cauca que es el más importante de sus numerosísimos afluentes, tiene una longitud de 1350 km, de los cuales son navegables un poco más de 620 km.

El Cauca también nace en el Macizo Colombiano, en la laguna del Buey. Corre entre las cordilleras Central y Occidental y tributa sus aguas en el Magdalena, a la altura del departamento de Bolívar, después de regar una hoya hidrográfica cercana a los 62 000 km<sup>2</sup> de superficie, en la cual destaca su parte media en territorio del departamento del Valle del Cauca como una de las zonas más fértiles del país.

Como ya hemos comentado el estudio está localizado en el Municipio de Santander de Quilichao entre los ríos Mondomo y Quinamayó, que pertenecen a la cuenca del Río Cauca. La zona se encuentra enmarcada por los 2° 53' 21" y 3° 02' 10" de Latitud Norte y los 76° 36' 52" y 76° 31' 38" de Longitud Oeste; y entre los 1045 m y 1773 m sobre el nivel del mar (msnm).

El río Quinamayó afluente directo del Cauca, nace a 2600 msnm, en el cerro Munchique (cordillera Central) entre las veredas Páez y Cóndor del municipio de Santander de Quilichao (Fig. 19). En este mismo cerro nacen sus afluentes el río Quilichao y el Páez (como también el río Sondoco que lo es del río Mondomo). Otros afluentes importantes son el río Japio, y el Mandivá; a este le vierte la quebrada La Chapa (una de las cuencas objeto de nuestro estudio) a la cual le aportan aguas las quebradas La Agustina, La Cascada, Quimbas, Chontaduro y Abejonales. La cuenca hidrográfica tiene una extensión de 27300 ha y se encuentra dentro del municipio de Santander de Quilichao.

El río Mondomo que se une con el río Ovejas antes de caer en el río Cauca nace en las estribaciones de la cordillera Central, a 3000 msnm (Fig. 20). La cuenca que presenta pendientes entre el 50% y el 100% tiene forma triangular, un eje longitudinal de dirección oriente a occidente y un drenaje de tipo dendrítico. Tiene una extensión de 25416 ha repartidas entre los municipios de Santander de Quilichao y Caldono. Recibe las aguas de la quebrada Tiembla (otra de las cuencas objeto de nuestro estudio) que a su vez recoge las de Mestizal, Loma gorda, Santa Bárbara, Las Moradas y San Pablo.

La vegetación de las dos subcuencas está constituida por bosques de galería y frecuentes y pequeñas manchas de bosque natural, que está degradado en la parte alta y presenta un gran índice de degradación en la baja. La producción agropecuaria está distribuida en forma regular. Encontramos en la parte alta ganado vacuno de leche, cultivos de fique (*Furcrae macrophyla*) y frutales como mora (*Chlorophora tinctoria*, L. Gaudi; Moraceae), mora silvestre (*Rubus urticaefolius*, Poir; Rosaceae), mora castilla (*Ruellia macrantha*, Mart.; Acanthaceae), lulo (*Solanum margiriatum*, L.; Solanaceae), lulo uvilla (*Solanum platyphylum*, H. et B. ex Dunal; Solanaceae) y lulo de castilla (*Solanum quitoense*, Lan.; Solanaceae). En la parte media y baja los cultivos de yuca, café (*Coffea arabica*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L), plátano (*Musa paradisiaca*) y mango (*Mangifera indica* L).

### 3.1 CLIMA

En la subcuenca del río Mondomo y Quinamayó se presentan dos unidades climáticas, la “Tierra templada y la moderadamente fría”. La “Tierra templada” se sitúa entre los 1300 m y los 2000 m de altitud y recibe una precipitación de 1931 mm/año (Tabla 7 y Fig. 21). Presenta una estación seca entre los meses de Junio y Septiembre y una estación lluviosa de Septiembre a Diciembre, que a veces se extiende a Enero, mermando un poco en Febrero e iniciando un nuevo periodo de lluvias que va de Marzo hasta Mayo con temperaturas medias de 18° C Esta zona de vida corresponde a un bosque húmedo premontano (bmh-PM), según el sistema de Holdridge (1978). La “Tierra moderadamente fría” que se ubica en la parte media de la cordillera central, es húmeda y presenta altitudes entre los 2000 y 3000 msnm, una precipitación alrededor de 1979 mm/año, con una época seca de Junio a Agosto y estación lluviosa el resto del año; las temperaturas medias oscilan entre 12° C y 16° C. Se corresponde con un bosque húmedo montano (bh-MB).



Figura 19. Subcuenca del río Quinamayó, vista panorámica tomada cerca del nacimiento de la quebrada La Chapa, frente a la vereda Chapa a 1655 msnm. Al fondo en la parte superior izquierda de la foto está el cerro Munchique tapado por las nubes.



Figura 20. Subcuenca del río Mondono, vista panorámica tomada en el área del nacimiento de la quebrada Tiembla, en la vereda Mondomito a 1540 msnm. Al fondo se observa las estribaciones de la cordillera Central.

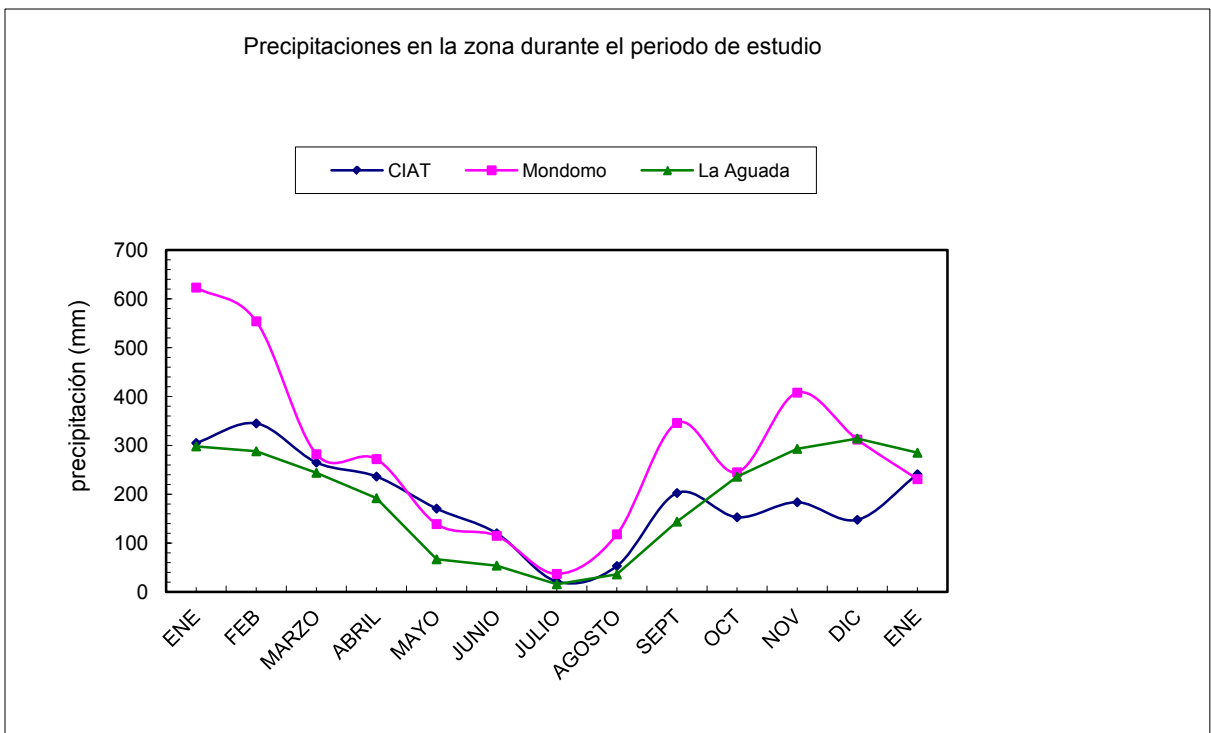


Figura 21. Precipitaciones mensuales en 3 estaciones meteorológicas de la zona de estudio durante el periodo de la toma de muestras: enero de 1999-enero de 2000: La Aguada (Altitud 2018 msnm, Latitud  $02^{\circ} 53' N$ , Longitud  $76^{\circ} 22' O$ ), Mondomo y CIAT. Enero y febrero de 1999 fueron dos meses atípicos, con más lluvia de la habitual.

Tabla 9. Datos climatológicos de la estación CIAT en Santander de Quilichao correspondientes al periodo comprendido de enero de 1999 a enero de 2000.

Fecha	Resultados	Tmax	Tmin	Ts07	Ts13	Ts19	Th07	Th13	Th19	Hr07	Hr13	Hr19	Hrmi	Pv07	Pv13	Pv19	Pv-prom.	Rad	Bsef12	Bsef18	Bseftot	Bsrel12	Bsrel18	Bsrelto	Pre13	Pre19	Pre07	Pretot	Evpo	Vvie
ene-99	Promedio	29	19	19,23	27,79	23,23	19,06	20,68	20,33	98,35	54	78	44,7	21,97	20,15	22,11	21,41	16,25	2,297	2,168	4,465	19,03	17,68	36,71	0,26	0,81	8,77	9,84	4,11	45
ene-99	Totales																	503,7	71,2	67,2	138,4	590	548	1138	8	25	272	305	128	1395
ene-99	Max/Min	32	17	20,4/17,2	30,4/26,2	25,8/19,4	20,3/17	22/19,1	21,2/19,2	100/94	62/43	100/64	54/37	23,8/19,2	22,8/17,7	24,3/20,4	22,7/20,1	21,9/10	4,5/0	5,2/0	8,4/0	37/0	43/0	70/0	2/0	11/0	48/0	48/0	5,8/1,8	64/23
feb-99	Promedio	28	19	19,23	26,88	22,6	18,88	19,56	20,12	98,71	52,1	81	42,5	21,73	18,32	22,13	20,74	17,48	1,921	2,221	4,143	15,93	18,46	34,39	1,61	0,93	9,79	12,3	4,82	50
feb-99	Totales																	489,3	53,8	62,2	116	446	517	963	45	26	274	345	135	1400
feb-99	Max/Min	32	17	20/17,5	29,8/24	25,2/20	20/17,1	21,5/18,1	22,8/18,8	100/92	69/42	97/66	55/34	23,4/19,1	22,6/15,7	26,8/18,7	23,8/18,9	22,4/9,1	4,8/0	4,4/0	8,9/0	40/0	37/0	74/0	33/0	17/0	38/0	38/0	8,2/0,8	88/14
mar-99	Promedio	28	20	19,96	27,3	22,59	18,87	20,56	20,02	91,26	55,7	80,8	50,8	21,19	20,25	21,93	21,13	16,65	2,9	1,79	4,69	23,87	14,74	38,61	0	0,13	8,42	8,55	4,95	51
mar-99	Totales																	516,2	89,9	55,5	145,4	740	457	1197	0	4	261	265	153	1582
mar-99	Max/Min	33	19	22/19	32,3/25	25,8/19,8	19,9/18,4	25,1/19	20,9/18,5	95/83	64/50	98/64	62/44	22/20,6	27,6/17,4	23,3/18,5	23,8/19,5	19,9/12	5,7/0,1	3,5/0,1	7,6/1,8	37/1	29	63/15	0	4/0	42/0	42/0	7,2/2,6	76/35
abr-99	Promedio	30	20	20,42	28,96	23,3	19,79	22,04	20,79	94,6	56,4	81,2	48,3	22,71	22,45	23,1	22,75	16,65	1,873	1,533	3,407	15,27	12,6	27,87	1,9	0,35	5,63	7,88	3,33	40,7
abr-99	Totales																	499,4	56,2	46	102,2	458	378	836	57	10,4	169	236	100	1222
abr-99	Max/Min	33	19	22/18,8	31,6/24	25,5/19,9	20,8/19	24,2/18,1	22,6/18,8	100/84	78/41	97/56	65/32	24,1/21	25,8/17	25,9/17,9	24,2/20,4	22,9/12,2	4,3/0	4,4/0	8,4/0	35/0	36/0	69/0	25/0	4/0	58/0	58/0	5,3/1,7	57/28
may-99	Promedio	30	19	19,89	28,86	23,28	19,22	21,76	20,2	94,55	55,5	77,4	49,2	21,9	21,85	21,86	21,87	16,61	2,333	2,09	4,423	18,93	17	35,93	0,44	2,31	2,76	5,51	3,78	42,6
may-99	Totales																	498,2	70	62,7	132,7	568	510	1078	13,6	71,6	85,5	171	117	1321
may-99	Max/Min	34	18	21,2/18	31,6/20,2	25,7/19	20,7/17,6	22,9/18,9	23/18,6	100/87	89/43	100/59	74/42	24,2/19,7	24,6/19,8	26,5/19,1	24,1/20	20,5/10,7	4,4/0	5,1/0	7,3/0	36/0	42/0	60/0	9,6/0	30,2/0	26,7/0	56,5/0	7/1,8	96/11
jun-99	Promedio	30	19	19,91	28,6	23,52	19,25	21,64	20,38	94,3	55,8	77,5	50,4	21,96	21,73	22,1	21,93	16,48	2,4	1,783	4,183	19,43	14,47	33,9	0,45	0,88	2,68	4,01	3,92	41,3
jun-99	Totales																	494,5	72	53,5	125,5	583	434	1017	13,6	23,6	80,3	118	120	1240
jun-99	Max/Min	32	18	22/16,1	30,8/24	27/20	20,8/18	23,5/19,6	21,6/19	100/83	68/47	97/63	64/44	23,8/18,1	24,5/18,9	24,5/19,5	23,1/20,6	20,9/8,9	4,5/0	5,2/0	8,9/0	37/0	42/0	72/0	9,2/0	22,7/0	22,3/0	23,8/0	6,5/1,9	77/27
jul-99	Promedio	31	17	17,84	29,29	24,66	17,78	21,83	20,74	99,35	53,7	71,9	45,5	20,33	21,73	22,21	21,44	17,89	2,903	2,332	5,235	23,58	19	42,58	0,23	0	0,46	0,69	4,11	46,9
jul-99	Totales																	554,6	90	72,3	162,3	731	589	1320	7,1	0,1	14,3	21,5	128	1454
jul-99	Max/Min	34	14	19,6/15,6	31,2/25,2	27,5/21,4	19,4/15	22,1/19,5	22,3/19,2	100/94	67/45	88/58	60/30	22,5/17,1	23,6/19,3	23,9/19,3	22,6/19,8	22,3/13,1	4,3/0	5,1/0	7,2/0	35/0	41/0	74/0	7,1/0	0,1/0	6,6/0	7,1/0	5,6/2,1	78/28
ago-99	Promedio	30	17	17,62	28,17	24,74	17,43	21,65	21,04	98,29	57,8	73,4	53,4	19,88	21,97	22,72	21,52	17,7	3,126	2,606	5,732	25,55	21,55	47,1	0,29	0,03	1,39	1,72	4,92	56,3
ago-99	Totales																	548,8	96,9	80,8	177,7	792	668	1460	9,1	1	4,1	14,2	152	1744
ago-99	Max/Min	33	15	20/15,8	30,4/23,4	27,7/20,3	20/15,6	21,9/20,9	21,7/19,9	100/87	82/47	86/60	78/41	23,4/17,5	23,6/20,2	23,1/21,8	22,6/20	22,2/5,7	4,5/0	5/0	8,5/0	37/0	41/0	74/0	1,1/0	0,4/0	15,1/0	15,1/0	7,6/1,9	70/41
sep-99	Promedio	28	17	18,17	26,24	22,77	18,11	22,23	20,85	99,47	72,1	85,5	58,7	20,79	24,44	23,59	22,95	15,91							0,83	0,69	5,23	6,75	3,52	46,9
sep-99	Totales																	477,3							25	20,7	157	203	106	1359
sep-99	Max/Min	30	15	20/16	28,3/22	25,4/18,4	19,8/16	23,1/20,6	22/18,1	100/96	89/64	100/75	82/41	23,1/18,2	24,8/23,6	24,5/21,2	24/22	21,6/7,9							9,6/0	8,2/0	42/0	36,9/0	5,4/0,8	76/10
oct-99	Promedio	29	18	18,75	26,98	22,7	18,62	22,43	21,37	98,73	69,5	89,5	56,7	21,39	24,4	24,68	23,48	17,54							0,14	0,74	4,22	5,1	3,97	44,5
oct-99	Totales																	544							41	22,3	127	153	122	1357
oct-99	Max/Min	31	17	20,4/17,2	29,4/24,2	25,2/19,2	20/17,2	22,9/21,9	22,5/20	100/96	87/57	100/72	74/42	23/19,6	25,8/23,3	26,5/22,1	24,3/22	22,9/9,5							3,1/0	11/0	46,4/0	46,4/0	5,5/2,2	79/12
nov-99	Promedio	27	19	19,32	25,99	22,29	18,97	21	20,19	96,63	65,6	83,6	56,3	21,74	21,89	22,42	22,06	15,21							0,48	1,46	4,18	6,12	4,05	39,6
nov-99	Totales																	456,3							14,3	43,9	126	184	122	1187
nov-99	Max/Min	30	14	20,6/16,4	28,5/22,1	24,2/18,4	20,3/16,3	21,3/20,1	22,2/18,4	100/90	84/54	100/74	73/44	23,6/18,5	22,5/21	26,2/21,2	23,2/21,4	19,8/0,7							8,7/0	14,9/0	36,2/0	51,1/0	5,5/0,6	71/18
dic-99	Promedio	29	19	19,04	27,05	23,23	18,95	22,72	21,59	99,19	71,2	87,2	64,2	21,9	25,02	24,79	23,9	15,46							1,24	1,24	2,29	4,77	4,08	37,8
dic-99	Totales																	479,2							38,5	38,3	71	148	127	1173
dic-99	Max/Min	30	16	20,3/17,2	29,4/24,3	25/20,1	20,3/17,1	23,4/21,8	22,3/19,7	100/94	85/62	99/75	88/55	23,8/19,4	26,4/23,5	26,3/22,7	24,8/22,4	21,2/10,2							9,4/0	14,7/0	12,3/0	27/0	6,8/1,9	81/0
ene-00	Promedio	29	19	18,94	26,5	22,54	18,83	22,52	21,21	98,97	72,4	89,6	58,2	21,68	24,9	24,42	23,68	16,18							0,42	0,75	6,61	7,77	3,94	41
ene-00	Totales																	501,6							13,1	23,1	205	241	122	1272
ene-00	Max/Min	32	17	20,6/17,4	29,3/21	26,3/19,4	20,4/17,2	22,9/21,8	22,6/19,4	100/95	97/60	100/77	77/48	23,8/19,5	25,1/24,2	26/22,5	24,7/22,6	20,4/8,3							5,1/0	5,6/0	56/0	56/0	6,2/2,4	56/0

Tmax-min=Temperatura máxima y mínima (°C), Ts07, Ts13 y Ts19=Temperatura de bulbo seco a las 7, 13 y 19 h (°C), Th07,Th13 y Th19=Temperatura de bulbo húmedo a las 7, 13 y 19 h (°C), Hr07, Hr13 y Hr19=Humedad relativa mínima (%),Hrmi=Humedad relativa mínima (%),Pv07=Presión de vapor a las 7 h; Pv-prom=Presión de vapor promedio; Rad=Radiación solar (MJ/m2-día), Bsef12=Brillo solar efectivo de las 6 a las 12 h, Bsef18=Brillo solar efectivo de las 12 a las 18 h Bseftot=Brillo solar efectivo total, Bsrel12=Brillo solar relativo de las 6 a las 12 h (%),Bsrel18=Brillo solar relativo de las 12 a las 18Bsrelto=Brillo solar relativo total (%); Pre13= Precipitación entre las 7 y las 13 h (mm), Pre19=precipitación de las 13 a las 19 h (mm), Pre07=Precipitación de las 19 a las 7h (mm), Pretot=Precipitación total (mm), Evpo=Evaporación potencial (mm), Vvie=Velocidad del viento a 2 metros de altura (km/día).

### 3.2 GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS

En la zona encontramos seis unidades geomorfológicas distintas: Unidad Mondomo, Unidad Quinamayó, Unidad Mandivá, Unidad San Isidro, Unidad Catalina y Unidad Buenos Aires. La principal es la unidad Mondomo que ocupa una extensa zona del Municipio de Santander de Quilichao, especialmente en los alrededores del corregimiento de Mondomo y, en menor proporción, en los municipios de Caldono y Caloto. Son suelos constituidos por arcilla provenientes de basaltos que en principio fueron cubiertos por capas de ceniza volcánica de poco espesor, presentando en la actualidad un avanzado estado de erosión, cuyas causas han sido las siguientes:

- 1) Sometimiento indiscriminado y prolongado al cultivo de la yuca;
- 2) Presencia de vientos calientes que ascienden desde el río Cauca por los cañones de los ríos Quinamayó y Mondomo;
- 3) Precipitación con alta intensidad; y
- 4) Exposición de las arcillas a los agentes temperantes.

En el extremo norte, correspondiente a las zonas más bajas, se encuentran algunos materiales finos de origen lacustre, sobre los cuales se originan los suelos. En las partes altas y estables predominan los suelos derivados de la ceniza volcánica. Su geomorfología corresponde a la del altiplano de Popayán, caracterizado por un sistema de colinas moldeadas en su mayoría por la acumulación de cenizas volcánicas. Este sistema ha sido intensamente disectado por la escorrentía concentrada con formación de cauces naturales y, en ocasiones, por pequeños valles aluviales. En las áreas cercanas a los taludes y escarpes de las disecciones se presenta un proceso erosivo más dinámico. En estos sitios son frecuentes las cárcavas y se hace más notoria la erosión remontante (IGAC, 1979; IGAC, 1995). En términos generales, son suelos superficiales o poco profundos, arcillosos y moderadamente drenados, pobres en materia orgánica, con baja saturación de bases, bajo nivel de fertilidad y alta saturación de aluminio, que puede llegar a ser tóxico (Tabla 8). Igualmente se puede identificar concreciones de hierro y magnesio.

Se trata de suelos susceptibles a la erosión hídrica, principalmente por escorrentía superficial. Predominan las arcillas de tipo caoliníticas, que son fijadoras de fósforo, lo cual impide que este sea utilizado por las plantas. La fertilidad se ve igualmente afectada por el bajo contenido de materia orgánica y su inestabilidad lo que no garantiza el suministro normal de nitrógeno. Estos suelos también presentan deficiencias en oligoelementos, principalmente hierro, boro, cobre, zinc. Todo ello y en las condiciones climáticas adversas los convierte en muy poco productivos. Por sus características físicas, químicas y climáticas, así como por su alta susceptibilidad a la erosión, son suelos muy limitados para el uso agrícola. Un uso racional debería orientarse hacia la reforestación proteccionista o al establecimiento de praderas con pastos tolerantes a las condiciones del suelo, como los del género *Brachiaria*, asociados con especies arbóreas forrajeras (FNC, 1994).

Como puede observarse en la Tabla 9, los pastos naturales son el uso dominante, pero también es importante la cobertura de cultivos limpios y semilimpios. En la actualidad en terrenos con mucha pendiente (más del 30%), se ubican 2500 ha de yuca cultivo que constituye el renglón

principal de producción de estas regiones. La ganadería que es otra actividad productiva importante y carece de tecnología de manejo es otro factor de degradación del suelo para las dos subcuencas. Hay que tener en cuenta que el sobre pastoreo agota los pastos y compacta los suelos, acentuando la escorrentía y produciendo erosión.

Tabla 10. Características de los suelos de la Asociación Quinamayó y Mondomo (CIAT, 1999).

Unidad de suelos	Asociación Quinamayó (QJ)	Asociación Mondomo (MT)
Relieve	Plano	Ondulado
Profundidad Efectiva	Moderadamente – profundos	Muy profundos
Material parental	Sedimentos aluviales	Ígneos ceniza
Textura	Ar	F_F Ar
Estructura	Bloques subangulares	Bloques subangulares
Consistencia	Firme	Friable
Permeabilidad	Lenta	Lenta
Retención de humedad	Muy alta	Alta
Materia orgánica	2,47% - Baja	6% alta
Saturación de bases	Muy alta	0,1 – Muy baja
CiC	Alta	Muy alta

En las zonas media y baja de la cuenca del río Mondomo hay zonas (3250 ha) con una erosión muy severa, ocasionada por el sobre uso del suelo, un alto régimen pluviométrico distribuido de manera irregular, así como la inestabilidad geológica, la topografía quebrada y las prácticas inadecuadas de manejo. Todo esto ocurre porque las zonas altas han sido deforestadas. En tiempos lluviosos se originan grandes volúmenes de agua que al discurrir por fuertes pendientes y sobre materiales geológicos inestables, producen estragos erosivos.

Tabla 11. Uso actual de los suelos en la subcuenca Mondomo (CIAT, 1999).

Usos	Area (ha)	Porcentaje
Pastos naturales	7616	30
Bosques naturales	3400	14
Tierras eriales	3250	12
Cultivos en semibosque	250	1
Cultivos semilimpios	3500	14
Cultivos limpios	4300	17
Rastrojos	3100	12
Totales	25416	100

El 45 % de las 3400 ha de bosque natural (las mejor conservadas) se encuentran en la región indígena; el resto son pequeñas manchas dispersas y sometidas a una presión permanente como fuente de leña. La deforestación junto con la roza y la quema, son otros factores de degradación. Como consecuencia de todas estas situaciones se produce un constante y alto aporte de sedimentos a los ríos Mondomo y Ovejas, que produce frecuentes daños a los acueductos de la subcuenca. Los procesos erosivos originados por el sobre uso del suelo ocasionan daños en las conducciones de agua y sobre todo, incrementan la cantidad de sedimentos disueltos en el agua, disminuyendo la calidad y la productividad biológica, así como la pérdida de calidad de las aguas para uso doméstico

e industrial. La capa fértil del suelo se pierde y en general se producen todo tipo de alteraciones del régimen hidrológico de la cuenca.

Desde el punto de vista agropecuario es preocupante la cantidad de suelo que se pierde en ambas subcuencas por la escorrentía debida a las altas precipitaciones (Tabla 10). También son significativos los daños causados por los sedimentos que al contaminar las aguas, colmatar los cauces y los ríos, dañar o simplemente sepultar terrenos productivos. Las zonas no erosionadas corresponden a las llanuras aluviales de los ríos y quebradas donde predomina el proceso de acumulación.

La subcuenca del río Quinamayó tiene pendientes que van desde 0 a 12 % en la parte baja a 1000 msnm; de 12-25 % y de 25-50 % en las colinas de poca elevación; de 50-75 % y mayor de 75 % en las partes altas donde nacen ríos y quebradas. Los suelos de esta subcuenca son de origen ígneo sedimentario con aportes de ceniza volcánica. Son suelos aptos para los cultivos de frutal y café. En la parte alta alrededor del cerro Munchique encontramos la Unidad Mandivá (arcillolitas) con pendientes desde 50% hasta de más del 75 %, esta misma unidad aparece en la parte baja, plana y de colinas que rodea el área urbana de la cabecera municipal de Santander de Quilichao, con pendientes que van desde 0-12 % (parte plana) y de 25-50 % en las colinas.

También tenemos en la parte alta la Unidad San Isidro con pendientes que van desde 12-25 % y del 50-75%. Estos suelos tienen su origen en las cenizas volcánica y están localizados en las veredas (organización territorial colombiana) Las Vueltas, El Turco y Tres Quebradas. Desde el río Mondomo en el sur del municipio y en dirección norte se extiende una franja de suelo de aproximadamente 1,5 kilómetros de ancho que pasa por un lado de la vereda Las Vueltas, atraviesa Pavitas para luego tomar dirección noreste hasta la vereda Guatava en el municipio de Caloto, esta Unidad se conoce como 200-San Isidro, son suelos originados en rocas ígneas (basaltos augíticos) y en ceniza volcánica y están entre los 2000-1400 msnm con pendientes que van desde 50-75 % hasta más del 75 %.

En el cerro La Chapa a 2000 msnm y hasta las colinas con 1400 msnm, con pendientes que van desde 50-75 % y en algunas partes de más de 75 %, nos encontramos nuevamente la Unidad San Isidro, considerada como zona cafetera (FNC, 1999), aunque sea la zona donde más se abastecen de yuca las rallanderías. En la vereda e Inspección de Policía de San Francisco y hasta la vereda San Antonio se encuentra la Unidad Buenos Aires de origen Sedimentario (conglomerados), con pendientes que van desde 12-25 % y de 50-75 %. Desde San Antonio y San Francisco hasta la vereda Santa Marta a 1200 msnm encontramos la Unidad Catalina de origen ígneos (pórfidos tonalíticos) con pendientes 50-75 % y mayores de 75 %.

Tabla 12. Datos de precipitación diaria mensual en 1999 de la Estación Mondomo, ubicada a un lado del puente de la carretera Panamericana, kilómetro 55,7 de la vía Popayán-Cali. Elevación: 1360 msnm, Latitud: 02° 54' N, Longitud: 76° 36'. Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Día	Ene	Feb.	Mar	Abr.	Muy	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
01	3	10	2	0	0	5	0	0	0	0	10	0
02	7	80	0	0	3	0	10	0	0	0	85	0
03	10	20	0	0	40	0	0	00	0	0	55	0
04	50	10	0	35	0	0	0	0	10	50	10	23
05	15	22	0	15	35	10	0	0	0	10	30	10
06	0	0	0	0	1	0	0	20	0	1	20	0
07	40	0	3	1	0	0	0	30	0	0	10	0
08	15	0	1	20	0	25	0	0	15	8	0	10
09	30	5	0	28	0	0	0	0	70	0	0	0
10	50	7	2	30	15	10	0	0	0	0	0	0
11	28	10	0	0	35	0	0	0	30	0	0	36
12	25	18	0	0	0	8	0	0	3	0	0	0
13	20	0	0	5	0	0	0	0	17	0	0	20
14	72	20	10	0	0	5	0	0	0	0	40	10
15	7	35	25	0	5	0	1	0	0	0	0	25
16	5	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
17	10	20	30	0	0	0	0	0	30	0	20	10
18	130	0	10	0	0	25	0	0	0	18	40	80
19	8	15	0	0	0	0	0	0	0	0	20	5
20	0	23	45	0	0	0	10	0	30	0	15	20
21	0	90	70	0	5	17	0	0	30	16	15	20
22	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	15
23	0	14	0	0	0	0	6	0	5	1	0	0
24	0	17	10	30	0	0	0	0	25	5	0	13
25	30	0	0	20	0	10	0	0	15	10	0	0
26	48	21	0	3	0	0	0	18	45	25	25	0
27	15	30	20	15	0	0	0	0	0	40	0	0
28	0	54	54	0	0	0	0	50	15	1	0	0
29	0		0	70	0	0	10	0	0	60	0	0
30	0		0	0	0	0	0	0	1	0	13	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	623	554	282	272	139	115	37	118	346	245	408	312
Nº días lluvia	22	22	13	12	8	9	5	4	16	13	15	15
Máximo 24 h	130	90	70	70	40	25	10	50	70	60	85	80

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos realizados van a ser expuestos agrupados en dos grandes bloques: el primero consiste en el estudio centrado en la caracterización de las rallanderías de yuca (RALL) de Santander de Quilichao y sus vertidos (Experimento A) y el segundo trata de la valoración del impacto de dichos vertidos sobre los ecosistemas acuáticos receptores (Experimento B). Primero presentaremos aquellos aspectos metodológicos comunes a ambos experimentos: los métodos analíticos relativos a los parámetros fisicoquímicos y de contaminación de las aguas y posteriormente los materiales y métodos específicos de cada experimento.

### 4.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

Se siguieron los procedimientos y métodos habituales en el Laboratorio de Aguas de la CRC en Popayán, donde se realizaron los análisis químicos. La DBO<sub>5</sub> se realizó en los laboratorios (Línea de Agua) del Instituto Cinara de la Universidad del Valle en Cali, aplicando también sus protocolos habituales. Las muestras se recogían con frascos de plástico, previamente lavados y etiquetados. En la etiqueta se escribía: el parámetro a medir, la fecha, la RALL, el sitio y si se añadía un conservante, el nombre de éste y el pH al que debía quedar la muestra como para determinar CN<sup>-</sup> (NaOH concentrada para subir el pH a 12-12,5) y DQO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, para un pH ≤ 2). Se recogían 3 muestras por sitio para poder hacer réplicas en el laboratorio; los frascos eran guardados en neveras con hielo y rápidamente transportados al laboratorio donde se almacenaban en nevera a 4 °C en espera de su procesamiento.

#### 4.1.1 TEMPERATURA DEL AGUA (T)

Influye en la solubilidad de las sales y sobre todo de los gases y en la disociación de las sales disueltas y por lo tanto en la conductividad eléctrica y pH del agua. Existe una estrecha relación entre la densidad del agua y su temperatura, por lo que cualquier alteración de ésta modifica los movimientos de mezcla de diferentes masas de agua. La temperatura del agua se midió con termómetro centígrado con base en un sensor de Pt, con equipos WTW y HORIBA U-10.

#### 4.1.2 PH

A una temperatura determinada la intensidad del carácter ácido o básico de una muestra viene dada por la actividad del ión hidrógeno o pH. El uso del término pH supone que se está considerando la actividad del ión hidrógeno. El valor del pH de una solución muy diluida es aproximadamente el mismo que el logaritmo común negativo de la concentración del ión hidrógeno. El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas, utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia. El pH se midió *in situ* por método potenciométrico con electrodo de vidrio, mediante equipos WTW y HORIBA U-10.

### 4.1.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Es una expresión numérica de la capacidad de una muestra para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura. Las sales minerales son buenas conductoras, mientras que la materia orgánica y la coloidal tienen escasa conductividad. La conductividad fue medida con método potenciométrico, mediante conductímetro WTW-320 y Horiba U-10, con celda de electrodos no platinizados y expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 4.1.4 OXÍGENO DISUELTO (OD) Y PORCENTAJE DE SATURACIÓN (SATOD)

Este análisis es una prueba clave en la contaminación y control del proceso de tratamiento de aguas residuales (AR). Existen dos métodos para análisis de OD: el de Winkler o yodométrico y sus modificaciones, y el electrométrico que utiliza electrodos de membrana. El primero, que fue realizado en el laboratorio para chequear los resultados tomados *in situ*, es un procedimiento titulo métrico basado en la propiedad oxidante del OD, mientras que el del electrodo de membranas se basa en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de una membrana. Como la solubilidad del oxígeno en agua aumenta a medida que disminuye la temperatura, el porcentaje de saturación óptimo de una corriente de agua requiere más oxígeno a mayor temperatura y menos a temperaturas más bajas. Una bajada de la temperatura desde  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  puede aumentar la solubilidad del OD cerca de un 40%. Esta característica es muy importante porque valores iguales de OD tienen un significado distinto dependiendo de la altitud (presión barométrica) y de la temperatura.

El valor de %SAT ideal para cada altitud y temperatura es el del 100%; por debajo se dice que el agua está subsaturada y por encima sobresaturada de OD. El OD fue medido *in situ* por el método de electrodo de membrana con equipos Horiba U-10 y HACH y expresado en  $\text{mg}/\text{l}$ .

### 4.1.5 SÓLIDOS TOTALES (ST)

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro. Los residuos secados a  $103\text{-}105\text{ }^{\circ}\text{C}$  pueden conservar agua de cristalización y algo de agua ocluida, y como resultado de la conversión del bicarbonato en carbonato habrá una pérdida de  $\text{CO}_2$ . También habrá una pérdida de materia orgánica por volatilización, pero que será por lo general muy ligera.

Se procede como sigue:

- 1) Se utiliza un vaso de precipitado de cuello alto que se calcina por 1 h, se seca y se enfría en un desecador y luego se pesa;
- 2) Se agita la muestra y se ajusta a  $\text{pH} > 4.3$ ;
- 3) Se toma una alícuota de 100 ml, se deposita en el vaso de precipitado ya calcinado y se pone en placa de evaporación a  $93\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 5 h;

- 4) Finalmente se seca en estufa a 103-105 °C por 2 h, se enfría en desecador por 3 h y luego se pesa hasta obtener peso constante;
- 5) Los ST fueron expresados en mg/l.

#### 4.1.6 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Muchos procesos industriales y agroindustriales vierten grandes cantidades de partículas sólidas que según la velocidad del agua y su régimen turbulento pueden sedimentar o permanecer en suspensión dependiendo de su densidad y tamaño. Su presencia puede influir adversamente en las quebradas receptoras ya que estas partículas obstruyen el paso de la luz solar y por lo tanto disminuyen la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, favoreciendo la disminución de la concentración de OD. Cantidades excesivas pueden llegar a inducir la creación de un estado anaerobio indeseable. El tipo de soporte del filtro, el tamaño del poro, la porosidad, el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado en el filtro son los factores principales que afectan a la separación de los sólidos suspendidos y los disueltos.

Se procede como sigue:

- 1) Preparación del filtro. Se inserta filtro de fibra de vidrio en un crisol Gooch, se le aplica vacío para filtrar hasta sequedad, agua destilada en 3 porciones de 20 ml c/u y se deja secar a 103-105 oC por 1h; finalmente se deja enfriar en desecador y se pesa hasta peso constante;
- 2) Análisis de muestra. Mientras se agita la muestra con agitador magnético, se inserta el filtro ya preparado en el crisol Gooch, se humedece el filtro con agua destilada y se aplica el vacío; entonces se toma una alícuota de la muestra en pipeta de punta ancha (14 ml/cm de superficie filtrante) y se filtra, junto con 3 porciones de 10 ml de agua destilada, resultado de limpiar la pipeta;
- 3) Determinación de SST. El filtro con residuo húmedo se seca 1 h a 103-105 oC, se deja enfriar en desecador y se pesa a peso constante;
- 4) Los SST fueron expresados en mg/l.

#### 4.1.7 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>)

La DBO<sub>5</sub> se ha realizado por el método respirométrico según métodos estándar de APHA-AWWA-WEF (1995) con el equipo WTW-MERCK-OXITOP, R-12. En este método la manipulación de la muestra es mínima y el oxígeno consumido por los microorganismos proviene del intercambio de la muestra líquida con el aire en contacto con ella. La muestra se ubica dentro de la botella y por medio de una agitación el oxígeno presente en la cámara de aire se disuelve en el líquido. Los microorganismos consumen este oxígeno durante el proceso de degradación de la materia orgánica produciendo CO<sub>2</sub> y agua. El CO<sub>2</sub> es absorbido en el *beaker* de caucho que contiene hidróxido de sodio o litio, produciendo un vacío en la botella que es medido directamente por el sensor OXITOP, el cual registra electrónicamente la presión negativa dentro de la botella mostrando un resultado en forma digital.

#### 4.1.8 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. La oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es del 95 % al 100 % del valor teórico. La piridina y los compuestos relacionados con ella resisten la oxidación y los compuestos orgánicos volátiles sólo son oxidados en la medida en que permanecen en contacto con el oxidante. El amoníaco presente en la materia orgánica que contiene nitrógeno, o liberado desde ella, no es oxidado en ausencia de una concentración significativa de iones cloruro libres. Para la determinación de este parámetro se empleó el método de reflujo cerrado y colorimetría, donde el consumo de oxígeno se mide con un espectrofotómetro SQ-118-MERCK (Darmstadt, Germany) frente a estándares control y a una longitud de onda determinada:

- 1)  $\lambda = 445 \text{ nm}$ , para DQO = 10-500 mg/l; y
- 2)  $\lambda = 585 \text{ nm}$  para DQO = 500-10000 mg/l.

#### 4.1.9 CIANURO ( $\text{CN}^-$ )

Como la mayoría de los cianuros son muy reactivos e inestables se procuró analizar las muestras lo antes posible y por precaución, para conservarlas se añadió una solución concentrada de NaOH para subir el pH hasta 12-12,5. Las muestras se guardaron inmediatamente en nevera a 4° C. La concentración de cianuro se determinó siguiendo el método colorimétrico normalizado 4500-CN de la APHA-AWWA-WPCF (1992). El cianuro de hidrógeno (HCN) es liberado a partir de una muestra acidificada, por destilación y purga con aire. El gas HCN se recoge pasándolo a través de una solución depuradora de NaOH. En el destilado alcalino obtenido en el tratamiento previo, el  $\text{CN}^-$  se convierte en CNCl por reacción con cloramina-T a  $\text{pH} < 8$  sin hidrolizarse a CON. Cuando ha terminado la reacción, el CNCl forma un tinte rojo-azul al añadir reactivo de piridina-ácido barbitúrico. Si el colorante se mantiene en solución acuosa, se lee la absorbancia a 578 nm. Para obtener colores de intensidad comparable, la muestra y los patrones deben tener el mismo contenido en sal.

#### 4.1.10 NITRATO ( $\text{NO}_3^-$ )

La determinación de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es difícil debido a los procedimientos relativamente complejos que se precisan, la elevada probabilidad de que se hallen sustancias interferentes y los rangos limitados de concentración de las diferentes técnicas. La presencia de  $\text{NO}_3^-$  en aguas proviene de la disolución de rocas y minerales, de la descomposición de materias vegetales y animales y de vertidos industriales y agroindustriales. No debe descartarse la contribución proveniente del lavado de tierras de labor en donde se utiliza profusamente como componente de fertilizantes. En aguas naturales de superficie los niveles no suelen exceder de 10 mg/l y con frecuencia no pasan de 1 mg/l. Es un nutriente limitante para muchos autótrofos fotosintéticos. Las muestras se filtraron previamente por filtro de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro. La determinación de nitrato se realizó según los

métodos fotométricos normalizados Spectroquant® de Merck con un espectrofotómetro SQ-118-MERCK. La absorbancia se midió a  $\lambda = 515$  nm. (Merck, 2003).

#### 4.1.11 NITRITO ( $\text{NO}_2^-$ )

El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) es un estado intermedio y tóxico del proceso de oxidación del N, tanto en la oxidación del amoníaco a nitrato como en la reducción del nitrato. Esa oxidación puede ocurrir en las plantas de tratamiento de AR, los sistemas de distribución del agua y en las aguas naturales. En aguas superficiales bien oxigenadas, el nivel de nitrito no supera 0.1 mg/L; en ríos con urbanas, industriales o agroindustriales se pueden llegar a alcanzar niveles mucho más altos. Las muestras se filtraron previamente por filtro de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro. La determinación de nitrito se realizó según los métodos fotométricos normalizados para Spectroquant® de Merck con un espectrofotómetro SQ-118-MERCK (Darmstadt, Germany).

#### 4.1.12 NITRÓGENO AMÓNICO ( $\text{NH}_4^+$ )

El amoníaco que se encuentra de forma natural en las aguas superficiales y residuales se produce en gran parte por desanimación de los compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. El amonio es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas e inorgánicas ricas en nitrógeno por putrefacción de proteínas y aminoácidos, por la reducción bacteriana del nitrito, también puede originarse por hidrogenación del  $\text{N}_2$  atmosférico fijado por microorganismos. En medio oxidante el amonio se oxida a  $\text{NO}_2^-$  por acción de bacterias nitrificantes del género *Nitrosomonas*. El agua de lluvia, debido a la disolución del nitrógeno de la atmósfera, puede presentar algunas trazas de amonio. Las aguas superficiales bien aireadas generalmente contienen poco ( $\text{NH}_3$ ); aguas poco contaminadas de cauces naturales no suelen presentar más de 0.1 mg/l. Las aguas con vertidos residuales domésticos tienen concentraciones mayores (> 4 mg/l). El amonio se determinó según los métodos fotométricos normalizados Spectroquant® de Merck con un espectrofotómetro SQ-118-MERCK (Darmstadt, Germany). Se empleó una adaptación al método de la sal de fenol, donde su principio consiste en la reacción del amoníaco, hipoclorito y fenol, catalizada por una sal manganosa hasta formar un compuesto azul intenso, el indofenol. La absorbancia se midió a  $\lambda = 540$  nm.

#### 4.1.13 CARGA CONTAMINANTE (CC)

La CC o Carga Combinada es una medida cuantitativa del poder contaminante de un vertido. Este parámetro se ha utilizado principalmente como referencia para establecer límites de descarga en las diferentes legislaciones a nivel mundial y relaciona la  $\text{DBO}_5$  y la DQO y los SST (Rojas, 1999). Una vez expresadas la DQO, la  $\text{DBO}_5$  y los SST en kg/día, la CC se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$\text{CC} = \frac{(2 \text{ DBO}_5 + \text{DQO})}{3} + \text{SST}$$

## 4.2 EXPERIMENTO A: EL CASO DE LAS RALLANDERIAS DE YUCA EN SANTANDER DE QUILICHAO

### 4.2.1 OBJETIVOS

La primera fase del estudio consiste en la caracterización de las RALL y en la de sus AR, así como en conocer las relaciones entre el contenido en cianuro de la materia prima, los procesos realizados para la obtención del almidón y el efecto del NT sobre las características finales de los vertidos.

### 4.2.2 ÁREA DE ESTUDIO: LA POBLACIÓN DE RALLANDERIAS DE SANTANDER DE QUILICHAO

Para la selección de la población muestral de rallanderías nos basamos inicialmente del informe de CIAT *et al.* (1995) que incluía una caracterización de las existentes en el municipio de Santander de Quilichao. Comprobamos que en 1999 muchas de las censadas en 1995 ya no estaban operativas o que su nivel tecnológico había cambiado. Tuvimos que actualizar el censo y realizar una encuesta que nos indicara cuántas RALL seguían operando en 1999, cuáles eran sus características técnicas y cómo podían incidir sobre la calidad ecológica de los cursos de agua. El formulario constó de 50 preguntas y está disponible para su consulta en el Anexo. Por cuestiones prácticas consideramos que no debíamos modificar los criterios empleados por el CIAT en 1995 para realizar la clasificación tecnológica de las RALL que las agrupó en 5 niveles tecnológicos, considerando únicamente criterios de productividad en la producción de almidón.

Los resultados de nuestra encuesta nos indicaron que solo quedaban operando con regularidad 62 RALL de las 102 existentes en 1995. Asimismo apreciamos una homogeneización tecnológica que hizo que decidiéramos considerar sólo dos niveles tecnológicos de los 5 empleados por el CIAT en 1995. Las de nivel tecnológico 1 (NT1, nivel alto) representaron el 46,8 % del total, mientras que las de nivel tecnológico 2 (NT2, nivel medio) el 51,6 %; si bien estas proporciones siguieron sujetas a cambios constantes como pudimos comprobar. Las RALL de NT1 son de flujo continuo (un promedio de 9 h diarias) por poseer canales para la sedimentación del almidón, fluyendo sus AR sobrenadantes directamente hacia los cauces receptores. Las RALL NT2 separan el almidón mediante sedimentación en tanques (durante 8-22 h), vertiendo las aguas sobrenadantes residuales en 1 h como promedio. El CIAT consideró en 1995 que las de tipo NT2 poseían un nivel tecnológico menor que las de NT1, por el hecho de tener limitado su ritmo de producción por la capacidad de los tanques de sedimentación.

La mayoría de las 62 RALL está en la cuenca del río Quinamayó (53,2 %) y en la del Mondomo-Ovejas (45,2 %), dos subcuencas del río Cauca, tributario a su vez del río Magdalena. Las instalaciones fueron numeradas según su situación en las cuencas vertientes, empezando desde las cabeceras hacia las desembocaduras, comenzando por las situadas en la microcuenca de la quebrada La Chapa (1 a 34) de la cuenca del río Quinamayó, siguiendo por las de la quebrada Tiembla (35 a 53) de la cuenca del río Mondomo y finalizando por las que están prácticamente junto al río Mondomo (54 a 62).

Casi todas están por debajo de los 1450 msnm, apareciendo concentradas en cuatro veredas (organización territorial colombiana): La Agustina (27,4 %), Mandivá (11,3 %), El Llanito (8,1 %) y Santa Bárbara (6,45 %). El corregimiento (organización territorial colombiana) de Mondomo es el centro urbano más importante de la zona. La mayoría de las corrientes de agua (38,7 %) presenta caudales comprendidos entre 0,002 y 0,107 m<sup>3</sup>/s, el 29 % entre 0,107 y 0,604 m<sup>3</sup>/s y el 32,3% entre 0,604 y 9,505 m<sup>3</sup>/s. El 80,7 % de las RALL presenta un recorrido de los canales de vertido entre 5 y 150 m y el resto entre 150 y 450 m. En el 35,5 % de los casos el canal de vertido de las RALL presenta pendientes del 10-20 %; y en el 32,2 % pendiente del 45-65 %. En el 56,3 % de los casos los caudales de los vertidos son del orden de 30-60 m<sup>3</sup>/día; y 60-90 m<sup>3</sup>/día en el 32,2 %; el resto 13-30 m<sup>3</sup>/día.

El 90,3 % de las agroindustrias trabaja entre 8 y 10 h diarias. Si hay suficiente materia prima y agua para el proceso trabajan de enero a diciembre, pero muchas se ven forzadas a parar en época seca (junio-septiembre). Algunos días en la época de lluvias tampoco pueden trabajar debido a la excesiva turbidez del agua o al alcanzar la capacidad máxima de los tanques de fermentación (no hay suficientes h de sol para secar el almidón, lo que limita el proceso). El 90,3 % de las RALL recoge y decanta el vertido de las máquinas lavadoras y utiliza posteriormente los sólidos como abono para sus huertas, descartando el agua sobrenadante.

El 72,6 % de los encuestados afirma que unos 20-25 años atrás había mucha ictiofauna en las quebradas, nombrando a Bocachico (*Prochilodus reticulatus*), Sabaleta (*Brycon henni*), Bagre sapo (*Pseudopimelodus bufonius*), Picuda (*Salminus affinis*), Guabino-1 (*Pygidium caliense*), Guabino-2 (*Astroblepus grivalvii*), Corroncho (*Chaetostoma leucomelas*), Sardina-1 (*Astyanas caucanus*) y Sardina-2 (*Bryconamericus caucanus*). Hoy en día toda esta fauna ha desaparecido sobre todo en los tramos medios y bajos de los ríos de la zona. Todos los rallanderos son conscientes de la evidente degradación de las quebradas y de la pérdida del patrimonio natural que ello supone. Se sienten preocupados por el problema de contaminación que podrían estar generando y sobre los posibles efectos aguas abajo, tanto sobre la salud pública, como sobre la calidad ambiental de las quebradas y sus valores recreativos. Piensan que todas estas pérdidas patrimoniales podrían afectar al futuro de sus hijos. Por ello todos estarían dispuestos a colaborar en una hipotética rehabilitación de las quebradas. Aportarían mano de obra, medios de transporte, materiales e incluso terrenos para infraestructuras (Anexo 1: Resultados de la encuesta).

#### **4.2.3 TOMA DE MUESTRAS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS RALLANDERÍAS**

La población inicial de 62 RALL quedó finalmente reducida a 43, que son las que funcionaron con regularidad. Entre las instalaciones disponibles para realizar nuestro estudio seleccionamos al azar 12 (Fig. 22 y Tabla 11) -lo que supuso el 30 % de la población real- tomando 6 de cada NT (NT1: sedimentación por canales y NT2: sedimentación por tanques). Para caracterizar cada RALL, tomar la muestra de la yuca que se iba a rallar y recoger las muestras de los vertidos, empleamos tres días como mínimo, lo que supuso unos 40 días de trabajo de campo para esta fase del estudio. En cada

RALL y en las fechas indicadas en la Tabla 11 se tomaron muestras de la yuca que iba a ser rallada ese día y muestras de las AR generadas (Sitio C).

Posteriormente se hacía la caracterización de la RALL. Se controlaba y medía la cantidad de raíces de yuca procesadas diariamente por la RALL correspondiente, la capacidad (volumen) y los tiempos de operación diarios de la máquina lavadora, del rallo y de la coladora. En las RALL NT2 se medía el caudal de evacuación de los tanques de sedimentación y su capacidad y en las NT1 el caudal en los canales de sedimentación y el del agua de las lavadoras. Debido a que la mayoría las RALL recoge y decanta el vertido de las máquinas lavadoras y utiliza posteriormente los sólidos como abono (contiene partículas de suelo, cascarilla y en algunos casos pequeños trozos de yuca) y a que en estudios realizados por investigadores de la Universidad del Valle encontraron que el agua sobrenadante que era arrojada a las quebradas, éstas tenían menores índices de contaminación que las de los canales y tanques de sedimentación (Rojas, 1999). Por lo tanto éstas no fueron analizadas.

### ***Yuca***

La yuca para rallar siempre se cosecha durante las primeras h de la mañana y esa misma tarde o noche es empacada y transportada a las RALL. Al día siguiente de la cosecha, ya en las RALL y por la mañana antes de que comenzaran a rallar, tomábamos una muestra representativa de todo el lote de raíces que iban a ser procesadas. De forma sistemática sacábamos 3 raíces de cada uno de los sacos que constituían el lote completo: un tubérculo de la parte central, otro de la inferior y otro de la superior de cada saco. Entre las raíces así extraídas y tras mezclarlas todas, se tomaba la muestra al azar, hasta obtener un mínimo de 30 kg. Todas las muestras fueron almacenadas en empaques de polipropileno y transportadas inmediatamente al laboratorio del CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) para proceder a la determinación de su contenido en cianuro total (CNT). Siempre se tomó un cuidado especial para proteger las muestras del calor y la luz.

### ***Aguas residuales***

La toma de muestras de agua se realizó siempre con la ayuda y asesoramiento de los técnicos de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), institución encargada de la vigilancia ambiental en el Departamento del Cauca. En el caso de las RALL NT1 el mismo día que se tomaba la muestra de la yuca a rallar, se recogía también el agua residual vertida al final de los canales de sedimentación (sitio C). Las muestras de las AR de las RALL NT2 se tomaban en cambio al día siguiente, que es cuando se realiza el vertido hacia las quebradas, tras estar sedimentando el almidón en los tanques desde el día anterior.

La muestra del vertido tipo NT2 se recogía en la RALL a la salida de los tanques (sitio C), donde tomábamos 30 l de cada uno de los 4-5 tanques de sedimentación, a 3 tiempos diferentes: 10 l al principio del vaciado, 10 l casi al final y finalmente otros 10 l con las aguas del desmanche (proceso de lavado que se realiza al almidón sedimentado antes de recogerlo de los tanques). De estos 30 l homogeneizados se reservaba una alícuota de 10 l representativa de cada uno de los 4-5 tanques. Ya mezclados los 10 l de cada tanque (40-50 l en total) se procedía a homogeneizarlos y de ahí se tomaban las muestras finales que eran llevadas al laboratorio: 3 alícuotas de 1 l para cada parámetro

fisicoquímico y de contaminación. Mediante una sonda multiparamétrica se realizaban medidas *in situ* de TEMP, pH, CE y OD.

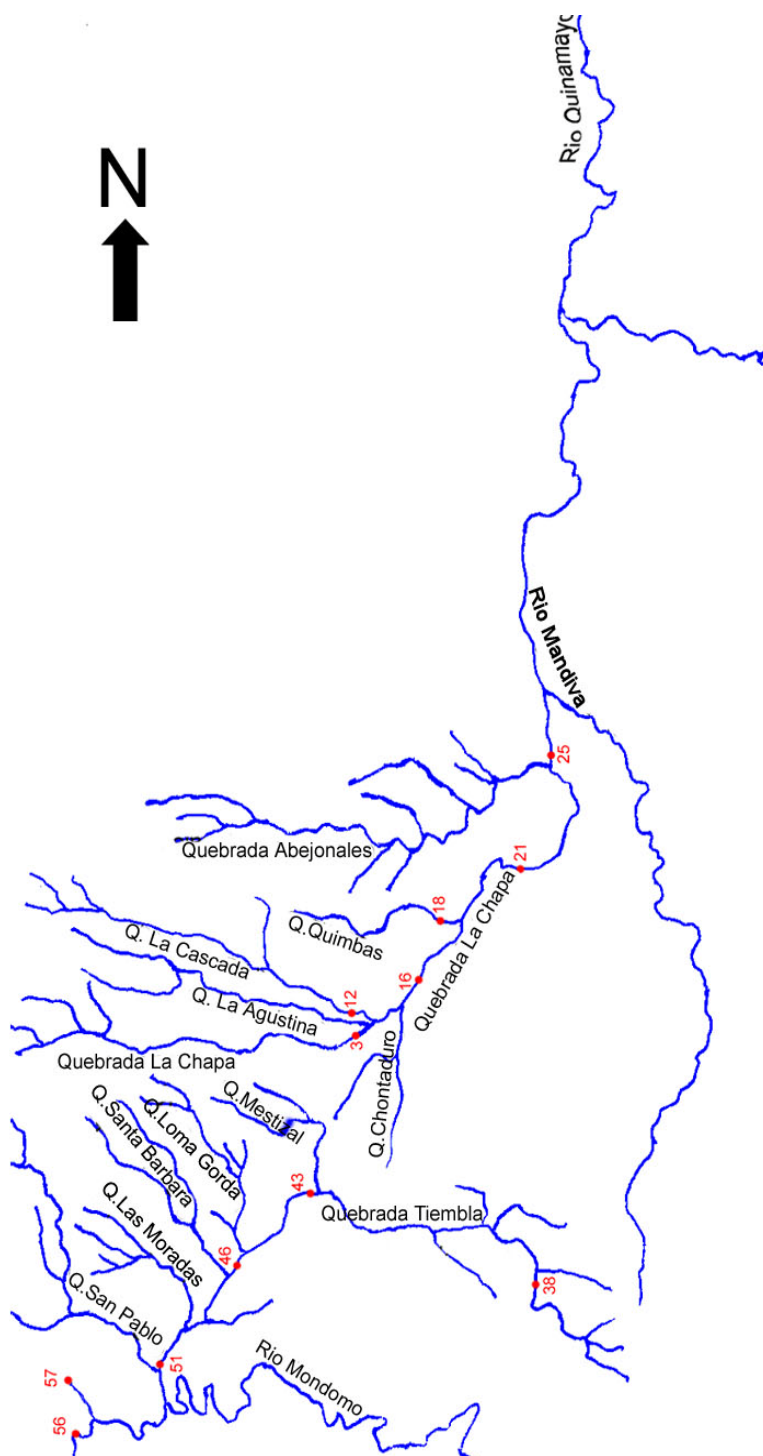


Figura 22. Localización aproximada sobre los ríos y quebradas de las subcuencas del río Quinamayó y del Mondomo-Ovejas (cuenca del río Cauca, Santander de Quilichao) del lugar de afluencia del agua residual (sitios de muestreo C) de las 12 RALL consideradas en nuestro estudio.

Tabla 13. Localización geográfica y altitud de las 12 rallanderías (RALL) seleccionadas para nuestro estudio, indicando su nivel tecnológico (NT) y la subcuenca de drenaje (cuenca del Cauca) en la que están situadas. También se indica la fecha en la que se tomaron las muestras. Estas coordenadas son prácticamente las mismas para los sitios de muestreo C, dado su proximidad a las RALL.

NT	Subcuenca	Receptor del vertido	RALL	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Fecha
1	Quinamayó	La Chapa	3	02°54'55"	76°33'43"	1365	10/09/99
2	"	Cascada	12	02°55'14"	76°33'05"	1370	08/07/99
1	"	La Chapa	16	02°55'29"	76°32'35"	1318	19/11/99
2	"	Quimbas	18	02°55'38"	76°32'32"	1260	19/11/99
2	"	La Chapa	21	02°56'01"	76°32'02"	1200	12/11/99
1	"	La Chapa	25	02°56'33"	76°31'52"	1115	19/11/99
2	Mondomo	Tiembra	38	02°53'51"	76°31'57"	1405	10/12/99
1	"	Tiembra	43	02°54'16"	76°33'03"	1360	24/09/99
2	"	Tiembra	46	02°53'49"	76°33'31"	1348	03/12/99
1	"	Tiembra	51	02°53'25"	76°33'51"	1331	01/10/99
1	"	Mondomo	56	02°52'44"	76°34'25"	1201	22/10/99
2	"	Vergara	57	02°53'30"	76°34'39"	1440	03/12/99

La muestra del vertido de las RALL NT1 se recogía al final de los canales de sedimentación (sitio C), obteniendo una mezcla homogenizada de 3-4 lechadas. De cada lechada se tomaban al final de los canales de sedimentación un total de 30 l del sobrenadante, recogidos a 3 tiempos diferentes: 10 l al principio de la lechada, 10 a tiempo medio y otros 10 l al final. Estos 30 eran mezclados y homogeneizados, quedándonos con una alícuota de 10 l representativa de cada lechada. Tras mezclar las alícuotas de 10 l representativas de cada lechada procedíamos a homogenizar los 30-40 l, tomar las medidas *in situ* de TEMP, pH, CE y OD, y recoger las 3 alícuotas de 1 l por parámetro para las determinaciones fisicoquímicas y de contaminación que se realizaban en el laboratorio.

Todas las muestras de agua fueron llevadas lo antes posible y debidamente conservadas al Laboratorio de Análisis de Aguas de la CRC en Popayán donde fueron conservadas refrigeradas a 4 °C. En dicho laboratorio fueron determinados, siguiendo los protocolos habituales del centro para el análisis de aguas, los siguientes parámetros: sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), cianuro (CN<sup>-</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). En el Instituto Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (Universidad del Valle, Cali, Colombia) se procesaron las muestras para la DBO<sub>5</sub>. Todos los métodos empleados están descritos en el apartado correspondiente.

#### 4.2.4 DETERMINACIÓN DE CIANOGENICOS EN RAÍCES DE YUCA

La determinación del contenido de cianuro total (CNT) en las raíces de yuca se realizó en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), siguiendo el protocolo de O'Brien *et al.* (1991). En el laboratorio se procedía a tomar al azar de cada muestra de yuca recibida (saco de 30 kg) por lo menos 3 submuestras de 4 raíces cada una. Las raíces eran lavadas hasta retirar las partículas de suelo adheridas y el periderma. Procediendo por submuestra (4 raíces), se cortaban de cada raíz 3 discos transversales de 1 cm de espesor: una rodaja de la zona proximal del tubérculo, otra de la

zona central y la tercera de la zona distal. A continuación se procedía a quitar el parénquima cortical, juntando el obtenido de las 12 rodajas y reservándolo. Posteriormente, de cada rodaja ya sin corteza, se tomaban 3 trozos de 1 cm<sup>3</sup> procediendo de forma radial: un trozo del exterior de la rodaja, un segundo trozo del medio y el tercero del interior. Se juntaban los 36 trozos de pulpa obtenidos de cada submuestra, tomando 50 g de forma aleatoria. Finalmente se troceaba el parénquima cortical reservado, tomando 10 g que se añadían a los 50 g de pulpa, obteniendo de cada submuestra 60 g para cada análisis.

Las metodologías analíticas para la determinación del cianuro en muestras vegetales incluyen la quimioluminiscencia (Wu *et al.*, 1989), las técnicas de desproteínización (Krinitski *et al.*, 1986), la disociación acoplada en capa delgada con irradiación ultravioleta preferencial (Kelada, 1989), la polarografía diferencial de pulso (Westley, 1988), la espectrofotometría modificada (Blago, 1989; Ohno, 1989), la colorimetría (Lundquist y Sorbo, 1989), y la determinación iónica cromatográfica (Nonomura y Hobo, 1989). Otro método que fue el seleccionado para este trabajo es el enzimático desarrollado por Cooke (1978), perfeccionado por O'Brien *et al.* (1991) y mejorado por Essers *et al.* (1993). Estos últimos aportaron una coloración más aceptable al método, al sustituir el reactivo de color piridina/pirazolina por el isonicotinato/1,3dimetil barbiturato. El nuevo reactivo es más rápido, barato y menos peligroso, no libera vapores tóxicos y tiene mayor estabilidad (12 días); después de la incubación las lecturas pueden ser tomadas entre el minuto 6 y 36. El método consta de una homogenización en ácido, filtración y neutralización, una incubación mediante hidrólisis con enzima exógena, alcalinización y finalmente espectrofotometría:

- 1) Los 60 g de yuca obtenidos en el submuestreo explicado anteriormente, se homogeneizan durante 1 min a temperatura ambiente con 150 ml de medio de extracción (ácido ortofosfórico 0,1 M con 25 % v/v de etanol al 96 %); se espera 1 min y se homogeneiza 1 min.
- 2) El homogeneizado se filtra a través de papel GF/A, utilizando un embudo Buchner. El vaso homogeneizador se lava con 50 ml de medio de extracción y se vuelve a filtrar. Se mide el volumen final del filtrado y se trasvasa una alícuota de 20 ml a una botella con tapa de rosca. Los extractos así obtenidos se conservan a 4 °C.
- 3) Para realizar la neutralización se toman 0,1 ml, que se agregan a 0,4 ml de solución tampón fosfato 0,1 M (pH 7).
- 4) La incubación se lleva a cabo con 0,1 ml de linamarasa a 30 °C durante 15 min,
- 5) se alcaliniza con 0,6 ml de NaOH 0,2 M, se espera 5 min a temperatura ambiente y se agrega 2,8 ml de solución tampón fosfato 0,1 M (pH 6).
- 6) Para realizar la lectura espectrofotométrica se agregan 0,1 ml de cloramina T, se espera 5 min y se adiciona 0,6 ml del reactivo Isonicotinato/1,3 dimetilbarbiturato; después de 10 min se lee la absorbancia a una  $\lambda = 605$  nm.

En cada lote de análisis siempre se incorporaban blancos y patrones, realizando los análisis siempre por duplicado. Para la calibración se realiza una curva patrón de KCN con una solución patrón final de 1  $\mu\text{g/l}$ , cuya *solución madre* se prepara a partir de KCN secado durante 12 h en desecador con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Se prepara una disolución de 1 mg/ml, disolviendo 100 mg de KCN seco en 100 ml de NaOH 0,2 M.

## 4.3 EXPERIMENTO B: VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS VERTIDOS DE LAS RALLANDERÍAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

### 4.3.1 OBJETIVOS

Caracterizada la agroindustria de la zona de estudio y la fisicoquímica de sus AR, evaluamos sus efectos sobre la calidad ecológica de las quebradas receptoras. Empleamos dos grupos de indicadores de calidad: la fisicoquímica del agua fluvial (FQF) y la estructura de la taxocenosis de macroinvertebrados bentónicos (MIB). Para la evaluación del impacto comparamos los MIB y la FQF de los subtramos de la quebradas influenciados por los vertidos (Sitios B) con los subtramos adyacentes aguas arriba no afectados (Sitios A). Los MIB fueron seleccionados como taxocenosis bioindicador para este estudio por sus características de distribución, abundancia, movilidad y ciclo vital, que pueden proporcionar información sobre el estado relativo de conservación del ecosistema. La información básica requerida para la mayoría de los análisis de estructuras comunitarias es un recuento de individuos por especies u otro nivel taxonómico, siendo reconocida la utilidad del nivel de familia. Con base a estos datos se caracterizan y comparan las comunidades de acuerdo con la su estructura biocenótica u otros indicadores.

### 4.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS QUEBRADAS Y TOMA DE MUESTRAS

Las muestras de agua y de MIB se tomaron en tramos de quebradas afectados por vertidos de RALL. En cada tramo –dividido en dos por la afluencia de las AR de una RALL- situamos un lugar de toma de muestras en el subtramo anterior (Sitio A) al vertido y otro en el subtramo aguas abajo (Sitio B). Se realizó una campaña de toma de muestras de agua y MIB en los tramos de las quebradas afectados por los vertidos de cada una de las 12 RALL, coincidiendo con la campaña de caracterización de la RALL correspondiente y de su vertido (Experimento A). Así obtuvimos 24 lotes (12 de sitios A y 12 de sitios B) de muestras de agua fluvial y 24 de MIB, en las mismas fechas que fueron recogidas las AR (sitio C) de las 12 RALL.

En las quebradas La Chapa y Tiembra (Fig. 23) -las dos quebradas de la zona con mayor número de RALL en sus cuencas de drenaje- realizamos un seguimiento más exhaustivo. En cada una de las dos tomamos al azar dos tramos afectados por el vertido de alguna RALL ya caracterizada: un tramo en zona alta o de cabecera y otro en zona baja, próximo a la desembocadura. En cada tramo se procedió como anteriormente, situando 1 sitio A y 1 sitio B (Tabla 12). Esto se realizó en 5 campañas, por lo que disponemos de muestras de 8 sitios (4 sitios A y 4 sitios B) que cubren la estacionalidad tropical: 27 de julio y 10 de septiembre, en la época seca con caudales mínimos; 1 de octubre, 12 de noviembre y 10 de diciembre, durante la temporada húmeda con elevados caudales. Así obtuvimos 40 lotes de muestras de agua fluvial y 40 de MIB (20 de sitios A y 20 de sitios B).

En el Anexo se encuentra disponible información ecológica de las dos quebradas y de sus bosques riparios. La localización de los lugares de muestreo, así como de las RALL (sitios A, B y C) se realizó mediante GPS Garmin 12 y altímetro. Se midió la pendiente de las laderas laterales de las

quebradas con caballete (Fig. 24) y las pendientes longitudinales del cauce con manguera de 20 m y diámetro de 6 mm (Fig. 25).

Tabla 14. Localización de los sitios A y B en los que se tomaron muestras de agua fluvial y de la taxocenosis de MIB durante 5 campañas en las quebradas La Chapa y Tiembla. El número que identifica al tramo corresponde al de la rallandería que vierte sus aguas entre A y B.

Subcuenca	Quebrada	Tramo	Sitio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Quinamayó	La Chapa	3	A	02°55'02"	76°33'15"	1417
"	"	3	B	02°55'00"	76°33'02"	1351
"	"	21	A	02°55'56"	76°32'09"	1155
"	"	21	B	02°55'53"	76°32'11"	1154
Mondomo	Tiembla	38	A	02°54'01"	76°32'08"	1395
"	"	38	B	02°54'01"	76°32'10"	1395
"	"	51	A	02°53'23"	76°33'50"	1329
"	"	51	B	02°53'21"	76°33'52"	1328

### Los caudales (Q) de las quebradas

Para medir los caudales (Q) se utilizó el mini Molinete OTT-C2-10, aplicando el método de la ecuación del valor medio. Se debe elegir un sitio sin demasiadas irregularidades en el que se mide la anchura total del cauce y se van tomando medidas de profundidad a intervalos regulares ( $l_i$ ), cuyo número y anchura dependen de la anchura total del cauce y de la irregularidad del lecho (Stednick, 1991). Se forman así subsectores de la sección transversal del canal (Fig. 26) en los que se estima la velocidad del agua ( $v_i$ ) contando el número de revoluciones de la hélice del molinete ( $r_i$ ) durante un tiempo determinado ( $t_i=30-40$  seg). La profundidad a la que se debe realizar la medida depende de la profundidad media de la subsección ( $p_{m_i} = [p_i+p_{i+1}]/2$ ): para  $p_{m_i} \leq 0,50$  m, la medida se realiza a 2/3 de  $p_{m_i}$  (60%); para  $p_{m_i} \geq 0,5$  m es conveniente hacer dos medidas para evitar las diferencias debidas a los flujos laminares del agua, una superficial, al 80% de  $p_{m_i}$  y otra profunda, al 20%  $p_{m_i}$ . La estima de Q es la resultante de sumar todos los caudales parciales de cada uno de los subsectores ( $q_i = a_i v_i$ ).

Las ecuaciones para el cálculo de la velocidad del agua empleando el molinete OTT-C2-10, dependen del tamaño de la hélice utilizada y de la velocidad del agua y son las siguientes, siendo  $n_i = r_i/t_i$ :

- Para la hélice nº 3:  
 $n_i \leq 0,72$   
 $0,72 < n_i \leq 0,90$   
 Ecuación para la velocidad:  
 $v_i = 0,2282 n_i + 0,024$   
 $v_i = 0,2517 n_i + 0,007$
- Para la hélice nº 4:  
 $n_i \leq 0,29$   
 $0,29 < n_i \leq 0,85$   
 $0,85 < n_i \leq 4,93$   
 $v_i = 0,4049 n_i + 0,039$   
 $v_i = 0,4931 n_i + 0,013$   
 $v_i = 0,5073 n_i + 0,001$

Las tablas de cálculo de los caudales (Datos para Aforo de Corrientes Superficiales) están disponibles en el Anexo.

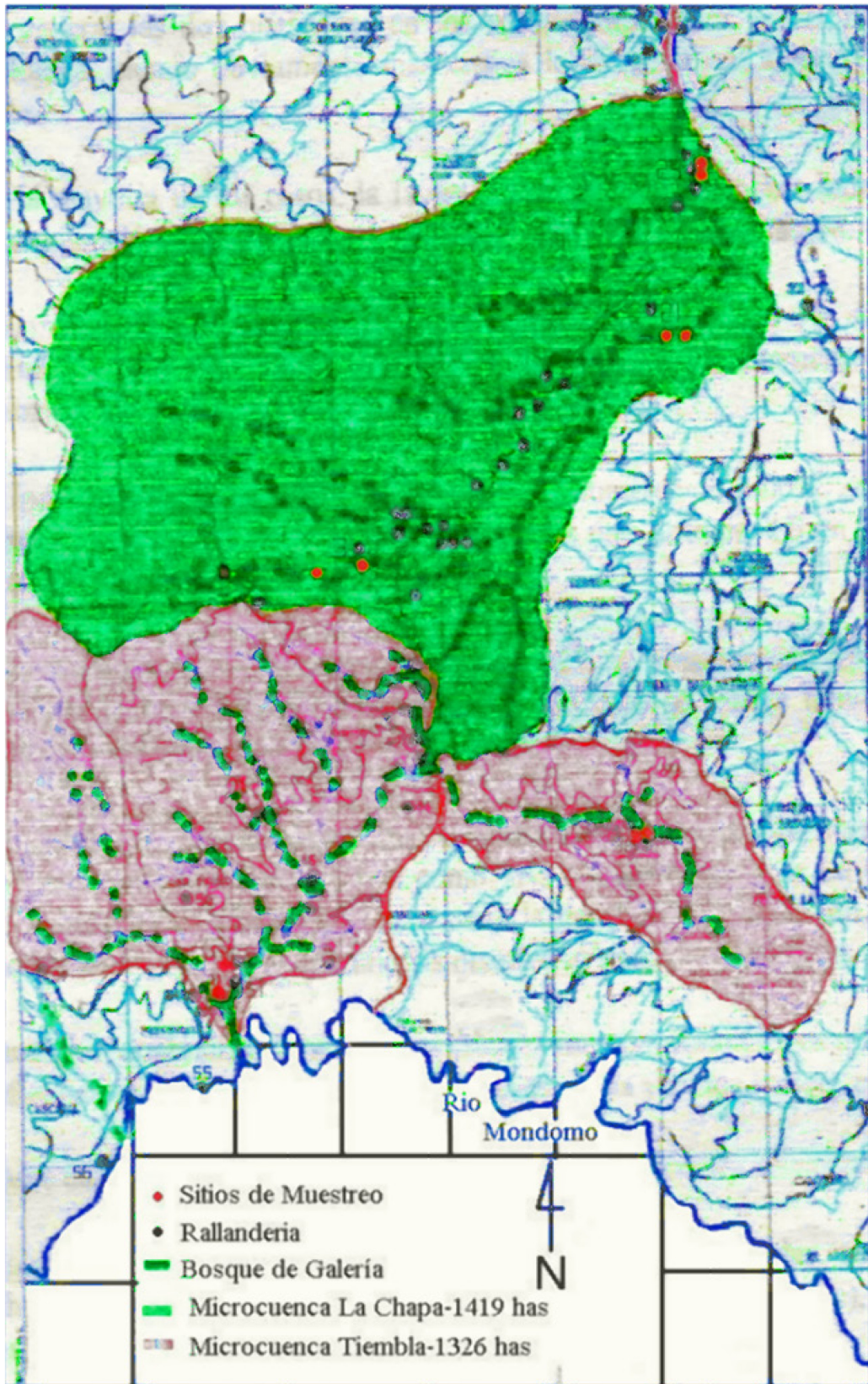


Figura 23. Cuencas de drenaje de las quebradas La Chapa (verde) y Tiembla (rojo).

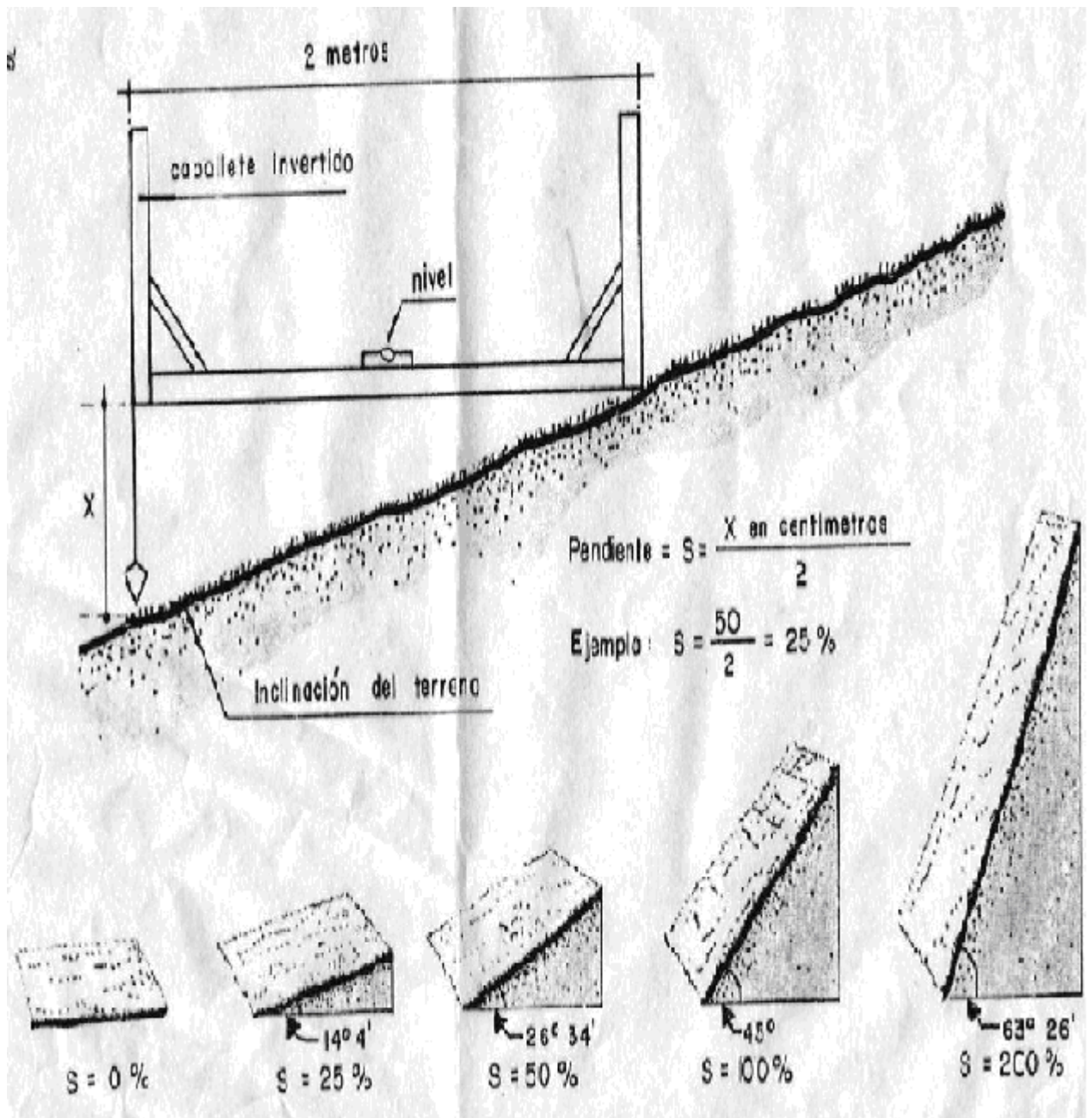


Figura 24. Caballete utilizado para medir la pendiente lateral de las laderas izquierda y derecha de las quebradas.

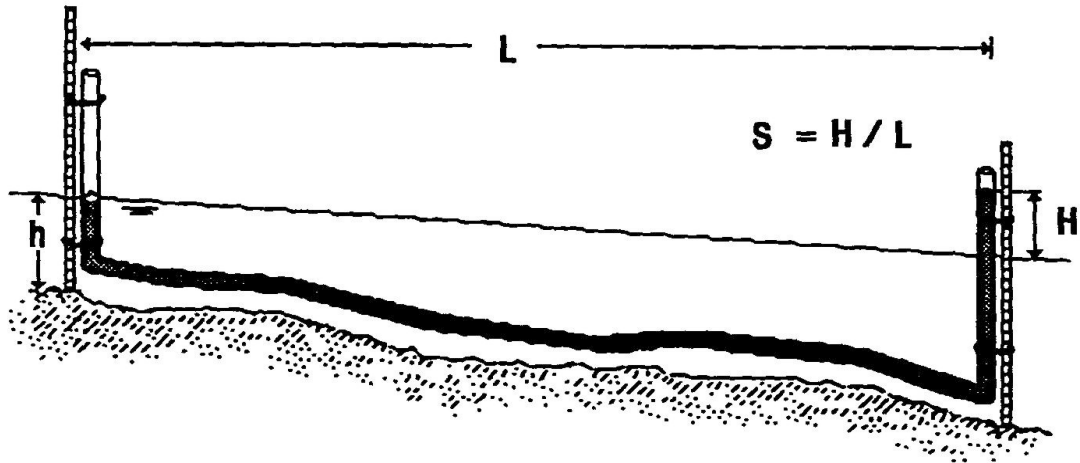


Figura 25. Esquema del método empleado para la medición de la pendiente longitudinal del río (S) a partir de la altura del agua (H) en una manguera apoyada sobre el lecho del cauce entre dos puntos situados a una distancia conocida (L).

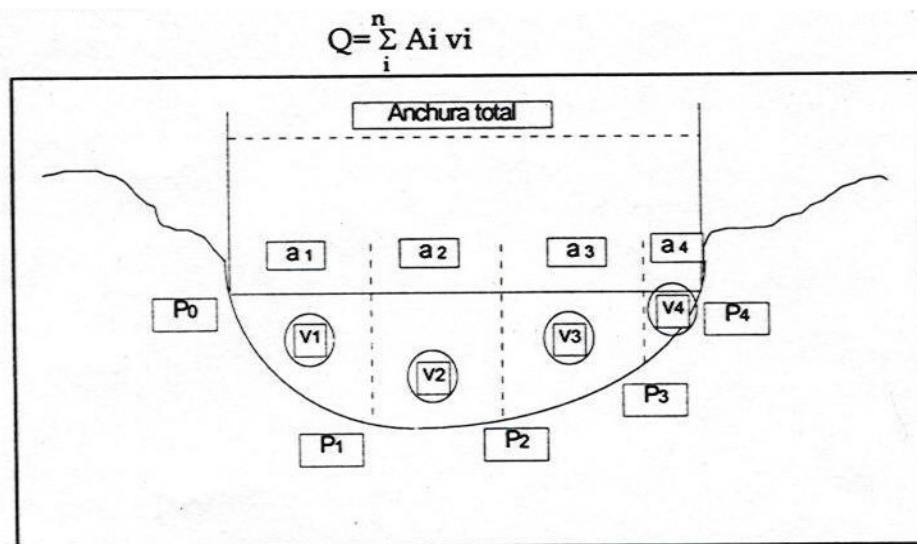


Figura 26. . Sección transversal del canal de un río, indicando las medidas que se deben tomar para medir el caudal (Q): el área de cada subsección ( $a_i$ ), la profundidad inicial y final de cada subsección ( $p_i$ ) y la situación aproximada de colocación del molinete para medir la velocidad del agua en cada subsección ( $v_i$ ).

### El agua fluvial

El procedimiento de toma de muestras de agua de los tramos afectados de las quebradas difería ligeramente entre los sitios A y los B. En el sitio A se recogían 3 alícuotas de 1 L (por parámetro) de una muestra de 30 L de agua que estaba integrada por 3 puntuales de 10 L (izquierda, centro y derecha en los cauces mayores). Se registraban *in situ* mediante sonda multiparamétrica, la temperatura del agua (T), su pH, conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD), tomando un mínimo de 3 lecturas. En los sitios B, se replicaba lo hecho en A, pero se tenía que esperar hasta que el agua residual de los tanques y canales de sedimentación se homogeneizara con el agua fluvial.

Las muestras se tomaban 5-10 m aguas abajo de la confluencia, dependiendo de los caudales relativos de ambos flujos de agua. Se recogían 4-5 muestras de 10 l para así poder abarcar el proceso completo de vaciado de los 4 o 5 tanques de sedimentación (o lechadas en el caso de los canales); tras su homogeneización tomábamos las alícuotas definitivas. La toma de muestras se realizó siempre con la ayuda y asesoramiento de los técnicos de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), institución encargada de la vigilancia ambiental en el Departamento del Cauca. Todas las muestras de agua fueron llevadas debidamente conservadas y lo antes posible al Laboratorio de Análisis de Aguas de la CRC en Popayán, donde siguiendo sus protocolos habituales fueron determinados los siguientes parámetros: sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), cianuro (CN), nitratos (NO<sub>3</sub>-), nitritos (NO<sub>2</sub>-) y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). En el Instituto Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (Universidad del Valle, Cali, Colombia) se procesaron las muestras para la DBO<sub>5</sub>. Todos los métodos empleados están descritos en el apartado correspondiente.

### ***La taxocenosis de MIB***

Se prestó una atención especial para evitar que la posible aparición de diferencias en la distribución y abundancia de los MIB se pudiera atribuir a factores tales como la anchura, profundidad, pendiente del cauce, o la velocidad del agua y el tipo de sustrato. Las unidades de muestreo se pusieron siempre en lugares en los que la influencia de esos factores y del bosque ripario fuera similar entre A y B. Utilizamos una unidad de muestreo de 1 m<sup>2</sup> con una red de *nylon* de una luz de malla de 500 μm. La red va cosida a dos mangos (1,5 m aprox.) mediante los que una persona puede anclarla al lecho fluvial y sujetarla (Barbour *et al.*, 1999). Se trata de un artefacto sencillo y eficaz, muy útil para estos tramos de aguas corrientes poco profundas con sustratos productivos y con el que se consigue una abundante fauna bentónica. Una persona toma la red por sus dos mangos, fijándola al sustrato en contra de la corriente, mientras otra persona situada a 1 m de distancia aguas arriba remueve con las manos 1 m<sup>2</sup> del lecho. De este modo, los especímenes presentes son levantados y arrastrados por la corriente, quedando atrapados en la red. Con las manos se debe recoger las rocas y piedras grandes y limpiarlas en la corriente de agua frente a la red para desprender los organismos aún adheridos. Si se recogían hojas, troncos u otros materiales, se limpiaban más tarde y con una pinza de punta fina se recogían todos los organismos allí presentes. Siempre se removía el sedimento hasta unos 3-5 cm de profundidad y se mantenía el esfuerzo durante 3 min.

Una vez retirada la red del río se envolvía junto con los troncos, hojas y similares y se depositaba en un recipiente plástico de 10 l. La red posteriormente se extendía sobre una mesa cubierta de papel o lienzo blanco sobre la cual, con pinceles, plumas y pinzas se recogían los organismos y se depositaban en frascos de boca ancha ya etiquetados. Para mantener blandas y flexibles las estructuras de los organismos se añadían de 3 a 5 gotas de glicerina a etanol al 70 %.

### 4.3.3 ANÁLISIS DE DATOS

#### **Clasificación y determinación taxonómica**

En una bandeja poco honda con agua, las muestras completas eran examinadas con una lupa estereoscópica, separando y contando los organismos por categorías taxonómicas. Una vez realizado todo el trabajo las muestras se guardaron ya clasificadas en frasco con etanol al 70 % y formalina al 5 %. Para la determinación taxonómica se emplearon las siguientes claves: Jewetts (1959 y 1960), Froehlich (1969, 1981, 1984a, 1984b, 1984c), Faus y Botero (1960), Illies (1963), Zwick (1972 y 1973), Benedetto (1974), Pennak (1978), Corbet (1980), Ball (1980), Roldán (1980, 1985, 1988 y 1992), Munroe (1981), Paraense (1981), Splangler (1981), Arango y Roldán, 1983), Álvarez y Roldán (1984), Bedoya y Roldán (1984), Flint (1991) y Zamora y Roessler (1995 y 1997). Las determinaciones taxonómicas se hicieron en el laboratorio de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad del Cauca con la colaboración del Profesor Hildier Zamora. Dos anélidos fueron determinados en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid por la Dra. Ana García Moreno.

#### **Descriptores de la estructura de la comunidad**

Los parámetros seleccionados para describir la estructura de la taxocenosis de MIB fueron los siguientes: densidad, riqueza, diversidad y equitatividad.

La *densidad* ( $N$ ) es el número de organismos presentes en la muestra de  $1 \text{ m}^2$ . Esta variable presenta una gran dependencia entre la media y la varianza de los datos obtenidos por lo cual una vez calculada utilizando número de individuos o ejemplares por metro cuadrado por cada familia es objeto de posterior transformación.

La *Riqueza* ( $S$ ) es el número de taxones diferentes que encontramos por unidad de muestreo de  $1 \text{ m}^2$ ; puede ser considerado como un indicador que sintetiza el estado de salud de un sistema. Los valores hallados deben relacionarse con un punto de control no afectado.

La *diversidad de Shannon* ( $H'$ ) está basada en la Teoría de la Información (Shannon & Weaver, 1949) y es una expresión cuantitativa dada por un valor numérico que equivale a una condición ecológica determinada. Este índice de diversidad define la diversidad como una función monótona, cuyo mínimo se produce cuando todos los elementos pertenecen a la misma clase y cuyo máximo tiene lugar cuando todos los elementos pertenecen a una clase diferente (Margalef, 1969):

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

Se trata de una expresión probabilística y general donde  $p_i = n_i/N$ , y representa la probabilidad de aparición del taxón  $i$  en un determinado hábitat. Es igual a la frecuencia de aparición de ese taxón en la muestra, es decir el número de individuos de ese taxón en relación al total de organismos ( $N$ ), siendo  $n_i$  el valor de importancia para cada taxón que para los cálculos corresponde al número de individuos del taxón  $i$  en la muestra.

La *Equitatividad (J) de Pielou* (Pielou, 1975 y 1977) es otro parámetro descriptivo de las relaciones de abundancia. Esta es una de las expresiones más frecuentes de la equitatividad y se calcula como:

$$J = H'/H_{max} = H'/\ln S$$

$H_{max}$  es el valor de diversidad que se alcanzaría si todas las especies mostraran idénticas abundancias en la muestra. La equitatividad expresa la regularidad con que los individuos están distribuidos entre las especies, pues valora la distribución de los individuos por especie. El máximo valor posible de J para un número dado de especies ocurriría si todas las especies presentaran el mismo número de individuos. Los valores van de 0 a 1. El valor de J se acerca a 0 cuando una especie domina sobre todas las demás en la comunidad y se acerca a 1 cuando todas las especies comparten abundancias similares.

### ***Índices de calidad empleados***

También hemos calculado el índice *BMWP* para Colombia y su correspondiente *ASTP*, que están basados en la presencia o ausencia de familias de MIB indicadoras de calidad del agua por su diferente tolerancia a la contaminación, especialmente la de origen orgánico. El *BMWP* se basa en la identificación de la muestra al nivel de familia, lo que facilita el trabajo, pues en corto tiempo se puede realizar un inventario de la fauna de cada lugar (Zamora, 2005). La presencia de una familia determina la asignación del valor (puntos) que cada una tiene asignado en la Tabla 8, tal como se explicó en el capítulo introductorio. El valor del índice *BMWP* se obtiene mediante la sumatoria de todos los puntos obtenidos por las diferentes familias presentes en cada muestra. El valor del índice *BMWP* obtenido de la Tabla 8, se ubica en su respectivo rango de la Tabla 7, de esta forma podremos obtener los niveles de calidad para un determinado lugar. Como los límites entre las categorías no pueden ser estrictos, necesariamente se presentan situaciones de transición; para ellas se han considerado puntuaciones con cinco unidades por exceso o por defecto de los límites establecidos en la Tabla 7.

El *Average Score Per Taxon (ASPT)* corresponde al valor del índice *BMWP* dividido por el número de taxones presentes (*S*). Cuanto mayor sea el valor de este índice, mayor es el porcentaje de taxones sensibles a la contaminación de tipo orgánico. El índice *ASPT* es en realidad un ponderador del índice biótico. Si el valor del *ASPT* es alto, implica que la puntuación del *BMWP* es alta y que el número de taxones es elevado, lo cual implica que dichos taxones indican buena calidad.

#### 4.4 TRATAMIENTOS ESTADÍSTICOS

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado mayoritariamente con la ayuda del paquete *STATISTICA* ver. 6 (StatSoft, 2001). Salvo que se indique lo contrario, el nivel crítico empleado para los test siempre ha sido  $\alpha = 0,05$ . Para la descripción de las poblaciones de datos de las variables continuas se ha empleado la media, su desviación típica o sus límites de confianza, según los casos; se presenta con cierta frecuencia a lo largo de la descripción de los resultados el uso de la mediana, máximos y mínimos, cuartiles y *outliers*.

Para determinar la normalidad hemos empleado el *Test de Kolmogorov-Smirnov*. Siempre se ha intentado normalizar las poblaciones de datos mediante diferentes transformaciones; cuando no se consiguió se procedió a emplear métodos no paramétricos. Siempre se ha intentado mostrar los resultados destransformados, cuando se trabajó con poblaciones de datos transformados. Para la comparación de dos medias en variables cuantitativas independientes, empleamos la prueba de la *t* de *Student*. La igualdad de varianzas se contrastó con el *Test de Levene* (lo que nos indicará si es más adecuado la prueba con varianzas iguales o desiguales). Como prueba no paramétrica empleamos el *Test de la U de Mann-Whitney*. Como método no paramétrico para la comparación de medias en variables dependientes se emplea el *Test de Wilcoxon* (para dos grupos), no siendo necesaria la normalidad de los datos. Para la comparación de múltiples medias se emplea el análisis de la varianza (ANOVA) cuando las muestras no presentan dependencia lineal, lo que es muy frecuente en este tipo de trabajos en ríos. Cuando el valor global de la *F* de *Snedecor* es significativo nos indica que las medias en los grupos no son iguales. Se muestra el *Test de Duncan* que realiza comparaciones múltiples de medias, ordenando las medias de menor a mayor y compara las diferencias entre pares (menor-mayor), conectando los grupos que no difieren significativamente. De esta manera halla subconjuntos de medias no significativamente diferentes. Si dos medias se agrupan en un mismo subconjunto no son diferentes significativamente, en otro caso serán diferentes significativamente. También se emplearon los procedimientos multifactoriales de Componentes Principales incluidos en *STATISTICA* para la obtención de los ejes factoriales o componentes principales en grupos de variables con relaciones, positivas o negativas y para la representación de los casos frente a las nuevas variables o factores (Dixon y Massey, 1983; Dunn y Clark, 1987; Everitt y Der, 1996; Cody y Smith, 1997; Afifi y Clark, 1998; StatSoft, 2001).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 EXPERIMENTO A: LA POBLACIÓN DE RALLANDERIAS DE SANTANDER DE QUILICHAO.

En la anterior encuesta de 1995 encontraron que de las 210 rallanderías (RALL) que existían en el Departamento del Cauca, 102 RALL estaban localizadas en el municipio de Santander de Quilichao y en cuanto al nivel tecnológico (NT) de producción 9 de ellas eran de nivel 1 y 2 o nivel bajo; hoy solo existe una que en el momento no está operando en la vereda Alto Paraíso (ver en Anexo Resultado de la Encuesta); 7 de nivel 3 o nivel medio es decir aquellas que tenían tanques de sedimentación y máquinas para lavar, rallar y colar pasaron a tener canales de sedimentación, por lo tanto a nivel 4 o nivel alto. Llama mucho la atención que 2 de las 6 de nivel 5 o nivel alto, es decir aquellas que además de tener canales de sedimentación tienen sus máquinas colocadas en posición continua y en gravedad, estén en el momento paradas; 2 de nivel 3 o nivel medio pasaron a ser de nivel 5 o nivel alto. En cuanto al NT de la agroindustria podemos decir que de las 62 rallanderías existentes y operativas en el momento de la realización de la encuesta en el Municipio de Santander, 29 son de nivel alto, 32 de nivel medio y solo una de nivel bajo que en el momento no está operando.

En estudio hecho por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), encontramos que en Colombia existen en total 148 RALL, de las cuales 146 se dedican a la producción de almidón agrio y 2 a almidón dulce y de este total el 83,1% están localizadas en el Departamento del Cauca (DANE, 2003). En reciente estudio hecho encontraron que en el Departamento del Cauca existían 155 RALL, de las cuales 104 están en Santander de Quilichao (Vergara *et al.*, 2008). De las 62 RALL por nosotros encuestadas solo 43 funcionaron regularmente de julio a diciembre de 1999, debido a diferentes problemas tales como escasez de: materia prima, agua y recursos económicos. En la Tabla 15A y 15B se presentan las variables que caracterizan a las 12 RALL agrupadas por NT. En la Tabla 16 hemos transformado el valor de YLH por el respectivo  $\log_{10}$  para ajustarlo a la normal, los resultados de las medias por NT ya se muestran destransformados y encontramos que hay diferencia significativa por NT ( $p \leq 0,05$ ) para YLH y para YFD, YCH, TL, ALH, ARCTH, ALM y ARCTTA. Como se aprecia en los test de Levene realizados las varianzas de todas las variables por NT son homocedásticas.

La yuca fresca procesada por día (YFD) es mayor en las RALL de NT1 (5596 kg) debido a que utilizan máquinas más eficientes, de mayor capacidad y por poseer canales de sedimentación, lo cual les permite trabajar sin ninguna limitación ya que la lechada va depositando gradualmente el almidón y al final del recorrido solo sale el agua residual (AR) con algunos sólidos en suspensión que son arrojados directamente a las quebradas. Solo 3 RALL han instalado tanques de sedimentación al final del recorrido de los canales con el objetivo de poder recoger el sólido en suspensión denominado por los rallanderos como “mancha” y que utilizan para alimentación de cerdos.

Caso contrario sucede con las de NT2 (3050 kg) que ven limitada su producción porque una vez llenados los tanques de sedimentación con la lechada deben parar la producción y esperar que el proceso de sedimentación se realice pero con la ventaja de poder recuperar los sólidos en

suspensión aunque un pequeño porcentaje de almidón se pierda en el proceso de separación denominado desmanche. En el norte de Vietnam existen alrededor de 1000 procesadores de yuca en escala pequeña (0,25-0,50 t/día) que producen almidón; en la India entre 850-1000 procesadores de yuca a escala media (10-50 t/día), en el sur de Vietnam y Tailandia entre 11-51 procesadores de yuca respectivamente a escala mayor (100-800 t/día) y (400-1200 t/día) respectivamente (FAO and IFAD, 2001); lo cual nos muestra que estamos muy por encima del norte de Vietnam pero por debajo de la India y muchísimo más lejos del sur de Vietnam y Tailandia.

Tabla 15A. Variables, siglas y unidades de las características de las RALL.

VARIABLE	SIGLAS	UNIDAD
Yuca Fresca procesada por Día	YFD	kg/día
Yuca Lavada por Hora	YLH	kg/h
Tiempo de operación de la Lavadora	TL	h
Yuca Colada por Hora	YCH	kg/h
Tiempo de operación de la Coladora	TC	h
Agua de la Lavadora por Hora	ALH	m <sup>3</sup> /h
Agua de la Lavadora por Día	ALD	m <sup>3</sup> /día
Agua Residual de Canales y Tanques por Hora	ARCTH	m <sup>3</sup> /h
Agua Residual de Canales y Tanques por día	ARCTD	m <sup>3</sup> /día
Consumo de Agua por Tonelada de Yuca	CATY	m <sup>3</sup> /t
Consumo de Agua total por día	CATD	m <sup>3</sup> /día
Agua Residual de Canales y Tanques por Tonelada de Yuca	ARCTTY	m <sup>3</sup> /t
Almidón	ALM	t
Consumo Total de Agua por Tonelada de Almidón	CATTA	m <sup>3</sup> /t

Tabla 15B. Características de las 12 RALL agrupadas por NT.

NT	RALL	YFD (kg/día)	YLH (kg/h)	TL (h)	YCH (kg/h)	TC (h)	ALH (m <sup>3</sup> /h)	ALD (m <sup>3</sup> /día)	ARCTH (m <sup>3</sup> /h)	ARCTD (m <sup>3</sup> /día)	CATY x10-4 (m <sup>3</sup> /t)	CATD (m <sup>3</sup> /día)	ARCTTY (m <sup>3</sup> /t)	ALM (t)	CATTA (m <sup>3</sup> /t)
1	3	5250	1033	5,1	583	9	2,12	10,81	6,26	56,34	12,8	67	10,7	1,2	56,2
1	16	7438	2625	2,8	826	9	6,16	17,25	6,49	58,41	10,2	76	7,9	1,7	45,0
1	25	4205	788	5,3	467	9	3,22	17,07	3,75	33,75	12,1	51	8,0	1,0	53,4
1	43	4560	962	4,7	507	9	2,25	10,58	4,05	36,45	10,3	47	8,0	1,0	45,4
1	51	6125	2283	2,7	681	9	7,57	20,44	5,09	45,81	10,8	66	7,5	1,4	47,4
1	56	6000	1520	4	667	9	5,49	21,96	7,37	66,33	14,7	88	11,1	1,4	64,5
	<b>N=6</b>	<b>5596</b>	<b>1535</b>	<b>4,1</b>	<b>621,8</b>	<b>9</b>	<b>4,47</b>	<b>16,35</b>	<b>5,5</b>	<b>49,52</b>	<b>11,8</b>	<b>66</b>	<b>8,9</b>	<b>1,3</b>	<b>52,0</b>
2	12	3600	671	5,4	420	8,6	2,86	15,44	33,92	33,92	13,7	49	9,4	0,8	60,3
2	18	2550	553	4,6	261	9,8	1,09	5,01	28,48	28,48	13,1	33	11,2	0,6	57,8
2	21	4940	1083	4,6	536	9,2	4,49	20,65	61,14	61,14	16,6	82	12,4	1,1	72,8
2	38	2320	335	6,9	237	9,8	0,87	6,00	18,25	18,25	10,5	24	7,9	0,5	46,0
2	46	2188	355	6,2	325	6,7	1,41	8,74	23,32	23,32	14,6	32	10,7	0,5	64,5
2	57	2700	390	6,9	360	7,5	1,11	7,66	33,77	33,77	15,3	41	12,5	0,6	67,5
	<b>N=6</b>	<b>3050</b>	<b>565</b>	<b>5,8</b>	<b>357</b>	<b>8,6</b>	<b>1,97</b>	<b>10,59</b>	<b>33,15</b>	<b>33,15</b>	<b>14</b>	<b>44</b>	<b>10,7</b>	<b>0,7</b>	<b>61,5</b>
<b>1+2</b>	<b>N=12</b>	<b>4323</b>	<b>1050</b>	<b>4,9</b>	<b>489</b>	<b>9</b>	<b>3,22</b>	<b>13,47</b>	<b>19,32</b>	<b>41,33</b>	<b>12,9</b>	<b>55</b>	<b>9,8</b>	<b>1</b>	<b>56,8</b>

Tabla 16. Comparación de medias (*t-Student*) de las características de las RALL agrupadas por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) y test de homocedasticidad de Levene (10 grados de libertad). Se ha aplicado el test de la *U de Mann-Whitney* para la variable ARCTY por no presentar una distribución normal.

	MEDIAS		t	p	D.E.		F Levene (1,gl)	p Levene		
	NT1	NT2			NT1	NT2				
YFD (kg/día)	5596,33	3049,67	3,947	0,0027	1180,16	1051,00	0,1094	0,7477		
YLH* (kg/h)	1387,44	514,92	3,634	0,0046	0,21	0,20	0,1601	0,6975		
TL (h)	4,10	5,75	-2,581	0,0274	1,14	1,07	0,0230	0,8826		
YCH (kg/h)	621,83	356,50	3,796	0,0035	131,07	110,14	0,3008	0,5954		
ALH (m <sup>3</sup> /h)	4,47	1,97	2,291	0,0450	2,26	1,42	3,6045	0,0868		
ALD (m <sup>3</sup> /día)	16,35	10,58	1,817	0,0993	4,76	6,15	0,6328	0,4448		
ARCTH (m <sup>3</sup> /h)	5,50	33,15	-4,494	0,0012	1,44	15,00	4,0233	0,0727		
ARCTD (m <sup>3</sup> /día)	49,52	33,15	2,022	0,0708	12,97	15,00	0,0480	0,8309		
CATY (m <sup>3</sup> /t)	11,81	13,97	-1,928	0,0826	1,75	2,11	0,0665	0,8017		
CATD (m <sup>3</sup> /día)	65,83	43,50	2,125	0,0595	15,30	20,70	0,2811	0,6075		
ALTY (m <sup>3</sup> /t)	2,96	3,31	-0,670	0,5179	0,83	0,97	0,5708	0,4674		
	Rank Sum NT1	Rank Sum NT2	U	Z	p-level	Z	p-level	n NT1	n NT2	2*1sided
ARCTY (m <sup>3</sup> /t)	29,000	49,000	8,000	-1,601	0,109	-1,601	0,109	6	6	0,1320

**Nota:** \*YLH ha sido transformada mediante  $\log_{10}(x)$ , aunque el valor de medias y desviación estándar se presentan ya destransformados.

La máquina que más ha evolucionado en eficiencia y capacidad es la lavadora y existen una gran variedad tanto en las RALL de NT1 (1535 kg/h) como en las de NT2 (565 kg/h), con un máximo de 2625 kg/h y un mínimo de 335 kg/h; razón por la cual las RALL gastan de media menos tiempo en lavar la yuca las de NT1 (4,1 h) que las de NT2 (5,8 h).

La capacidad de la máquina lavadora depende mucho del flujo de agua, de la cantidad de partículas de suelo adheridas a las raíces de yuca (aumenta en los períodos de lluvia) y de la variedad de yuca procesada. El agua que utilizan las lavadoras por h (ALH) es mayor en las de NT1 (4,47 m<sup>3</sup>/h) que las de NT2 (1,97 m<sup>3</sup>/h); este último promedio es similar (1,90 m<sup>3</sup>/h) al estudio realizado en la RALL 45 (ver en Anexo Resultado de la Encuesta) de NT1 (Chaux y Vergara, 2005) pero es un valor muy alto si se compara con los caudales promedio (1,12 - 0,79 m<sup>3</sup>/h) en dos investigaciones realizadas por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC, 2004).

Utilizan una sola coladora y con menor capacidad todas las RALL de NT2 mientras que todas las de NT1 utilizan dos para poder aumentar su capacidad de producción. La capacidad de la máquina coladora depende también del flujo de agua, de la variedad de yuca y del tipo de máquina utilizada es mucho mayor en las RALL de NT1 (587 kg/h) que en las de NT2 (357 kg/h). Cuando se detiene la coladora se termina el proceso de producción del almidón porque ya no hay más lechada que vaya a los tanques o canales de sedimentación por lo tanto el tiempo de operación o de trabajo por día de una RALL está dado por esta. En las de NT1 el tiempo que dura el vertido contaminando a la quebrada equivale al tiempo de operación de la coladora.

En el procesamiento del almidón cerca del 85 % del promedio de 30 m<sup>3</sup> que se necesitan para producir una tonelada de almidón es descargada como AR, el remanente se pierde por evaporación. El promedio de estas descargas está entre 20-40 m<sup>3</sup>/t de almidón para una moderna factoría y de 20-100 m<sup>3</sup>/t de almidón para una factoría de escala media (FAO and IFAD, 2001), encontramos en nuestro estudio que los valores están entre 73-45 m<sup>3</sup>/t de almidón y con una media por NT de 52-62

m<sup>3</sup>/t de almidón. Las AR media de los tanques de sedimentación por h (ARCTH) de las RALL de NT2 son mayores (33,15 m<sup>3</sup>/h) que las que fluyen por los canales de las de NT1 (5,5 m<sup>3</sup>/h), debido a la forma de verter las RALL según el NT; para estos flujos se reportan en la zona de estudio valores de 2,7 a 3,3 m<sup>3</sup>/h (CRC, 2004), 3,6 m<sup>3</sup>/h (Chaux y Vergara, 2005) y 5,0 m<sup>3</sup>/h (Torres y Rodríguez, 2003). Casi todas las RALL trabajan de media 9 h diarias y producen de media AR, las de NT1 (49,5 m<sup>3</sup>/día) y las de NT2 (33,2 m<sup>3</sup>/día), valores que están dentro del rango de 18 a 48 m<sup>3</sup>/día en un estudio donde tuvieron en cuenta el nivel tecnológico bajo (Rojas *et al.*, 1996). Al calcular el AR por tonelada de yuca procesada vemos que estas generan aproximadamente de media en los dos NT 9,8 m<sup>3</sup>/día; valores muy similares (30 y 9,5 m<sup>3</sup>/día) y (49,9 y 7,4 m<sup>3</sup>/día) encontrados en otros estudios (Chaux y Vergara, 2005 y Vergara *et al.*, 2008, respectivamente).

En la Figura 27 podemos observar 2 *outliers* que corresponden al CATD (82 m<sup>3</sup>/día) y al ARCTD (61,14 m<sup>3</sup>/día) de la RALL 21 que es atípica del NT2 porque posee las máquinas necesarias (lavadora y coladoras) para la producción de NT1, pero esta se ve frenada porque por falta de recursos económicos no han podido construir los canales de sedimentación. Debido a esta situación su propietario tuvo que cerrar la RALL en el año 2000 y dedicarse a la cría y ceba de porcinos. Por lo tanto si eliminamos estos valores podemos ver en esta gráfica que habría diferencia significativa entre NT.

El CATY de las RALL 16 y 43 de NT1 (10,2 m<sup>3</sup>/t y 10,3 m<sup>3</sup>/t, respectivamente) y el de la 38 de NT2 (10,5 m<sup>3</sup>/t) es un valor relativamente bajo comparado con el valor más alto de las RALL de los dos NT (14,7 de RALL 56 y 16,6 m<sup>3</sup>/t de RALL 21) como lo podemos ver en la Figura 28 (también observamos como en el grupo de NT1 se incluye la RALL 21); pero al comparar el consumo de agua por tonelada de yuca procesada con otros países vemos que estamos muy por encima de Brasil (6-7 m<sup>3</sup>/t), Indonesia (5-11 m<sup>3</sup>/t) y Vietnam (8 m<sup>3</sup>/t); solo Tailandia (10-18 m<sup>3</sup>/t) y Ecuador (9-12 m<sup>3</sup>/t) reportan datos similares a los nuestros (FAO and IFAD, 2001); que nos muestra que las mejoras y desarrollos tecnológicos de esta agroindustria solo han ido dirigidos a aumentar la producción y calidad del almidón pero que hasta hoy día no se ha investigado para mejorar en el uso eficiente, racional y sostenible del agua y que realmente representa un costo ambiental demasiado alto porque son aguas no contaminadas que las RALL toman de la parte alta de las microcuencas y posteriormente son devueltas con una alta carga contaminante. La sostenibilidad del agua para la agroindustria y para los acueductos de la región está seriamente comprometida por la deforestación en todas las microcuencas, pero más grave aún es que las 12 RALL consuman 657 m<sup>3</sup>/día para procesar tan solo 51874 kg/día de yuca, mientras que el acueducto de Mondomo (Com. pers. del Sr. Edwin Chávez García de la Junta Administradora del acueducto de Mondomo) consuma 468 m<sup>3</sup>/día de agua potable, beneficiando a 3800 hab. Según el Reglamento de Saneamiento Básico RAS (Ministerio de Desarrollo, 2000) la dotación neta residencial para un nivel de complejidad medio es de 0,12 m<sup>3</sup>/hab\*día; por lo tanto, el caudal que gastan las 12 RALL equivale a la dotación mínima requerida por una población de 5475 hab/día.

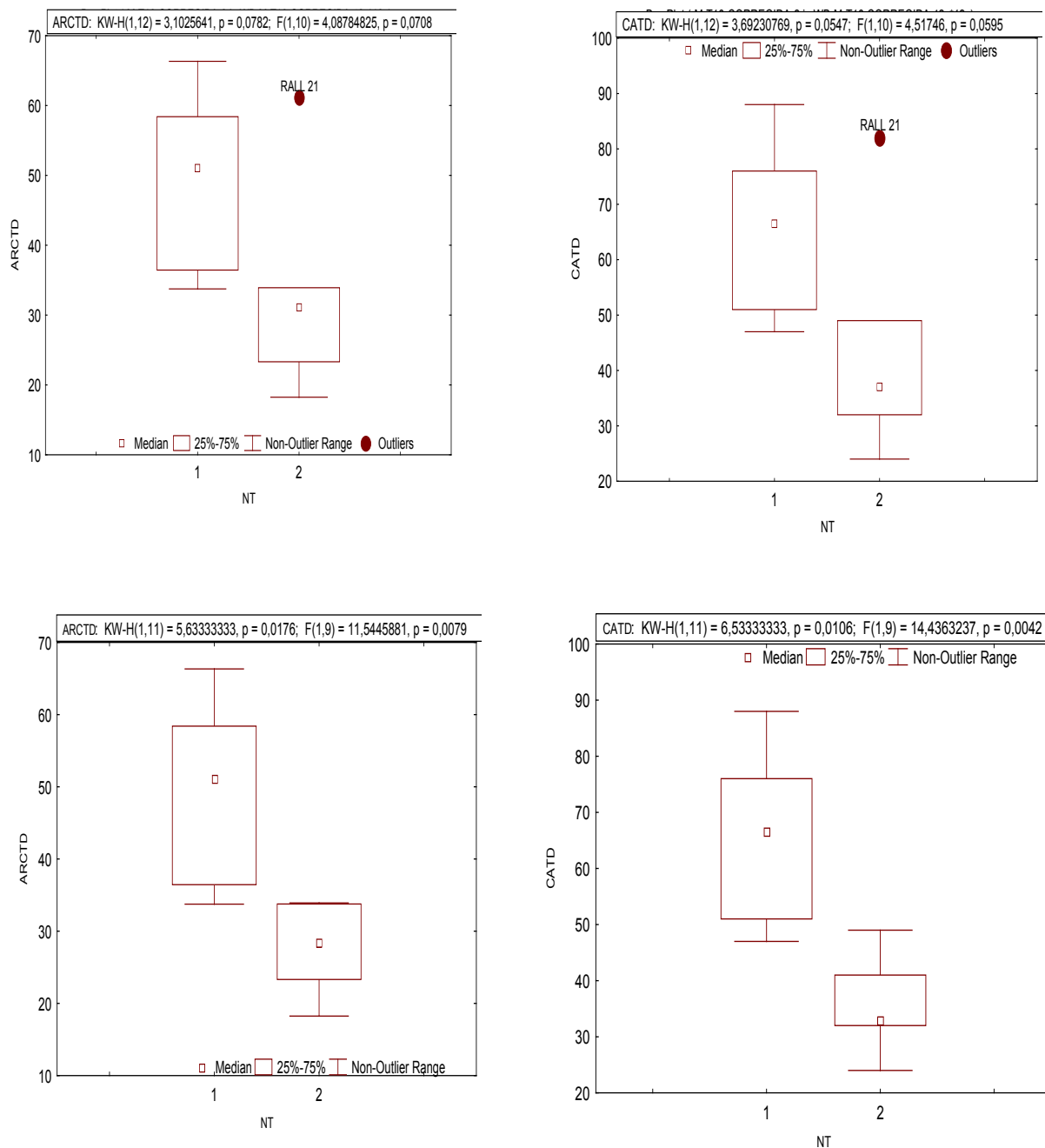


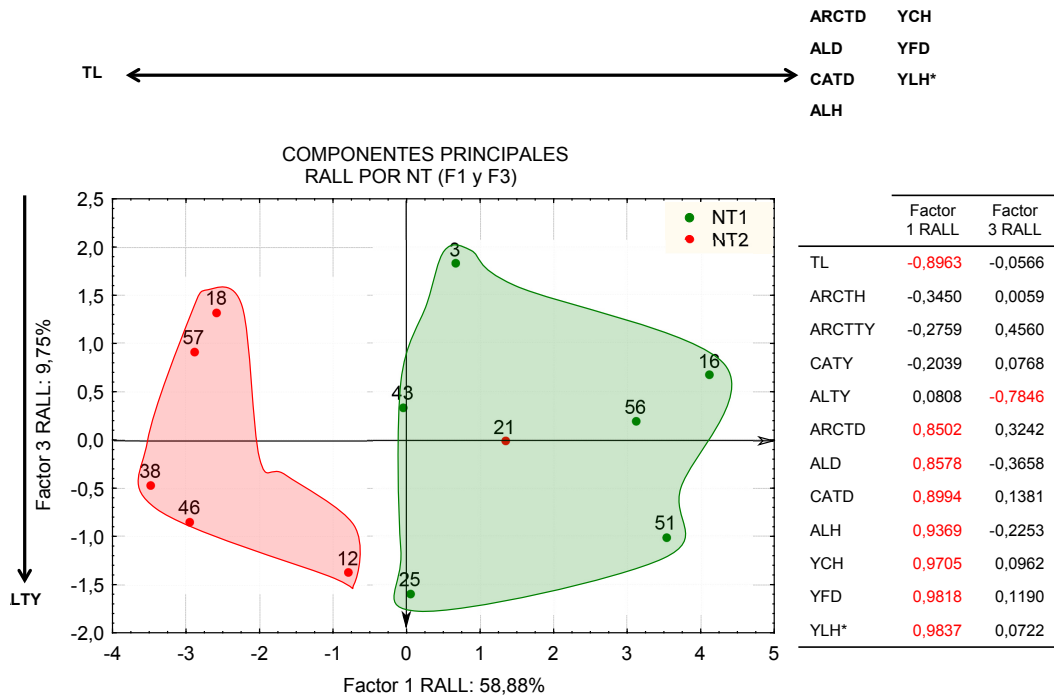
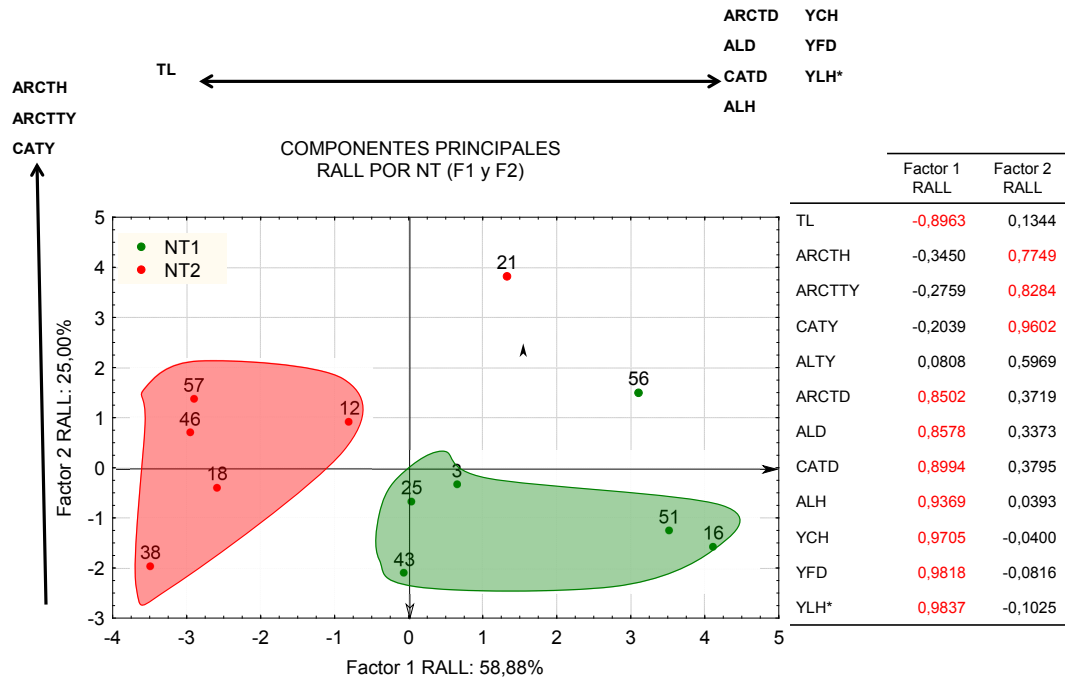
Figura 27. Gráficas de características de las rillanderías: ARCTD y CATD.

La dimensión del problema es más crítico aún si calculamos el CATD promedio por año con las 43 RALL que funcionan regularmente 5 días/semana por NT (29 de NT1, 13 de NT2 y la RALL 21) teniendo en cuenta que las RALL de NT1 funcionan aproximadamente 10 meses y 8 las de NT2 (ver en Anexo las Tablas de Resultado de la Encuesta), debido a diferentes factores tales como: escasez de materia prima, turbiedad en el agua para el proceso, falta de sol para secar lo cual hace que los tanques de fermentación de almidón se llenen (las h de sol son directamente proporcionales a la capacidad de los tanques de fermentación), daños en la maquinaria (coladora, lavadora y rallo) y corte de energía debido a fuertes tempestades que se presentan muy a menudo en la zona. En la

India la agroindustria del almidón también es estacional y operan por un periodo de 4-5 meses por año (FAO and IFAD, 2001).

Como mínimo estas RALL gastan en promedio 4708 hm<sup>3</sup>/año de agua que posteriormente son vertidas a las quebradas (arrojando 3542 hm<sup>3</sup>/año de AR) contaminándolas y destruyendo los ecosistemas allí presentes. Este total de caudal que consumen las 43 RALL podría abastecer durante un año la dotación mínima requerida por una población de aproximadamente 100000 habitantes.

Las RALL de NT1 producen mayor cantidad de ALM (1,27 t/día) que las de NT2 (0,69 t/día) pero producen mayor cantidad de ARCTTA las de NT2 (46,93 m<sup>3</sup>/t) que las de NT1 (39 m<sup>3</sup>/t). En el norte de Vietnam producen ALM entre 0,05-0,60 t/día que está por debajo de la nuestra pero en la India, en el sur de Vietnam y Tailandia 2-10 t/día, 25-200 t/día y en 100-300 t/día respectivamente las producciones son muchísimo mayores (FAO and IFAD, 2001). La producción de ARCTTA de nuestras RALL están por encima de las de Brasil (21-32 m<sup>3</sup>/t) y la India (31 m<sup>3</sup>/t), similares a las de Tailandia (25-45 m<sup>3</sup>/t) y China (40 m<sup>3</sup>/t) pero son mayores las de Ecuador (36-76 m<sup>3</sup>/t) y de otras regiones del Cauca (60-75 m<sup>3</sup>/t) según el informe de la FAO.



	Mean NT1	Mean NT2	t-value	p	Std.Dev. NT1	Std.Dev. NT2	Levene	p
Factor 1	1,898	-1,898	3,539	0,0054	1,886	1,828	0,3440	0,5705
Factor 2	-0,735	0,735	-1,564	0,1489	1,263	1,925	0,4035	0,5396
Factor 3	0,072	-0,072	0,221	0,8294	1,219	1,037	0,0707	0,7958

Figura 28. Componentes Principales de Características de 12 RALL (F1, F2 y F3).

### 5.1.1 MATERIA PRIMA

En el banco de germoplasma *in vitro* del CIAT en Palmira, Colombia, se encuentra la mayor colección de yuca del mundo, 6073 clones discriminados en 5724 clones de *Manihot esculenta*; incluyen cultivares primitivos, cultivares mejorados, material genético y 349 accesiones correspondientes a 33 especies silvestres. Se estima que el 87 % de los clones de la colección son cultivares primitivos y el resto son cultivares avanzados, híbridos y material genético (Aristizabal *et al.*, 2007). En la región donde se realizó este estudio se procesa yuca de diferentes cultivares y cada variedad de yuca tiene un contenido de ácido cianhídrico distinto y se dan muchos casos de que una misma variedad de yuca pueda tener diferentes contenidos de ácido cianhídrico, dependiendo de las condiciones ambientales de la zona del cultivo (Alarcón y Dufour, 1998).

En la zona se procesan alrededor de 28 variedades distintas de yuca y las RALL utilizan en cada proceso como mínimo 3 variedades distintas de yuca, por lo tanto cada una de ellas aporta cantidades diferentes de cianuro y produce distintas cantidades de materia seca (almidón y subproductos); además en algunos estudios se ha encontrado que el contenido de cianuro varía considerablemente entre las raíces de una misma planta, que por lo general hay un gradiente tanto longitudinal como radial (en el extremo proximal el contenido es alto, disminuye hacia la parte distal y de las partes más externas al centro de la raíz) y entre las plantas de un mismo cultivar bajo las mismas condiciones de crecimiento (de Bruijng, 1973 y Cooke, 1978 y). Es importante señalar que las RALL utilizan para la extracción del almidón de yuca tanto la pulpa o parénquima como la corteza o cáscara y que es en esta última donde se concentra el mayor contenido de cianuro total y libre, en cambio en la pulpa es mayor el contenido de materia seca (Gómez *et al.*, 1980).

En los comienzos de esta agroindustria debido a manejar bajos volúmenes de producción en las décadas de 1950 a 1970, las raíces de yuca eran lavadas y “peladas” (retirada la cáscara y cascarilla de la pulpa) manualmente y estas eran utilizadas para alimentar animales presentándose muchas veces intoxicaciones por los altos contenidos de CN<sup>-</sup> en las yucas utilizadas. Al crecer la demanda de almidón y por consiguiente aumentar los niveles de producción vino la necesidad de reducción de los costos de mano de obra, del tiempo utilizado, del lavado mecánico, la utilización de la corteza (que puede representar un 10-15 % de la raíz) en el proceso, y por lo tanto elevación de los niveles de CN en el proceso.

Se analizaron muestras de raíces de yuca, para poder determinar en el arranque del procesamiento de la yuca el contenido de cianuros totales (CNT) y materia seca (MS) presentes (Tabla de Anexo 5). Observamos en esta tabla que la media de MS (42,56 %) es mayor que la encontrada por Gómez y otros investigadores en 1980 (39,28 %), en cambio la media de los contenidos de CN<sup>-</sup> (300,24 mg/kg ps) es menor que la encontrada por este investigador (630,32 mg/kg ps). En otro estudio hallaron que en raíces frescas de yuca el contenido de CN<sup>-</sup> osciló entre 140 y 890 mg/kg ps (Gómez *et al.*, 1984b) y en otro realizado en el CIAT de Palmira en 1992 con 29 variedades el contenido de la media de MS (31,97 %) fue menor y de CN<sup>-</sup> (338,07 mg/kg ps) fue mayor al encontrado por nosotros (Fernández *et al.*, 1992) lo cual nos muestra los avances logrados

en los últimos 20 años por el CIAT en el mejoramiento de las variedades que se utilizan por parte de las RALL (reducir los contenidos de  $CN^-$  y aumentar los porcentajes de MS).

Solo la RALL 12 utiliza variedades dulces, pues encontramos 138 mg/kg (ps) de promedio de CNT y un contenido medio de MSY del 46,48 %, siendo claramente menores de los 180 mg/kg (ps) de CNT del máximo que el CIAT ha establecido para las variedades dulces (ver Introducción). Las demás RALL utilizan lotes de yuca amarga y semiamarga porque buscan producir almidones de mejor calidad o que les permita obtener un producto con mejores precios en el mercado; algunos lotes de yuca amargas como las que utiliza la RALL 56 tienen un contenido de MSY excelente (48,57 % y 47,64 %).

Cuando se procesa lotes de raíces de yuca amarga para extraer almidón, este no contiene residuo alguno de HCN porque este se libera en el lavado, rallado, colado y el remanente se disuelve totalmente en el agua que requiere el proceso y por lo tanto queda presente en las AR; por lo cual los rallanderos solo tiene problemas al procesar yucas amargas en el manejo posterior de estas AR. En cambio los agricultores si tienen problemas al sembrar lotes de yucas amargas porque su mercado solo es para la agroindustria; ellos prefieren que las yucas sean de doble propósito pues en el mercado en fresco obtienen mejores precios y las que este rechaza siempre las RALL las pueden procesar.

En algunos años se puede y se ha presentado escasez de materia prima en la zona con lo cual solo unos pocos rallanderos de gran capacidad económica y de gestión (de manera individual o por intermedio de su cooperativa) han podido tener acceso a otros mercados de otras regiones y han tenido la fortuna de poder producir y obtener muy buenos precios, cuando la gran mayoría han tenido que parar. Es en este periodo de crisis cuando muchos rallanderos deciden cambiar de actividad modificando sus instalaciones o vendiendo sus equipos e instalaciones.

### **5.1.2 FLUJOS DE CIANURO EN LAS RALLANDERIAS**

Desde el momento de la cosecha de las raíces de yuca se inicia la descomposición de los cianógenos presentes por acción de la enzima linamarasa que continuará con el transporte, almacenamiento y procesamiento (Gómez *et al.*, 1980). Durante la etapa de lavado las raíces de yuca esta pierde gran parte de su contenido de  $CN^-$  y este aparece en mayor proporción en el agua (40-70 %) debido a su solubilidad en forma combinada o simple. En la etapa de sedimentación, el almidón contiene un 8-14 % de  $CN^-$  con 1-3 días de sedimentación la concentración se disminuye a menos de 4 % y en la etapa de secado se reduce a menos del 1 % (Pérez y Solarte, 2002); es importante anotar que el ácido cianhídrico como tal, se evapora a 28 °C (Tewe, 1992).

En la Tabla 17 podemos ver por RALL y por NT la yuca fresca procesada por día (YFD), la media del porcentaje de materia seca en yuca (MSY), yuca seca por día (YSD), la media de cianuro total (CNT), el flujo de cianuro en la yuca procesada por día (CNTD), la concentración y flujo de cianuro en las AR (CNC y CNCD) y el porcentaje de cianuro que queda presente y va a las

quebradas (CNP). De esta Tabla podemos decir que 7 RALL procesan lotes de yucas amargas, 4 RALL lotes semiamargas y solo una de lotes dulces.

Al utilizar los datos para el análisis estadístico (Tabla 18) encontramos que solo el CNP (transformado por su respectivo  $\log_{10}$  para ajustarlo a la normal) le podemos aplicar el test de la *t* de Student y encontramos que hay diferencia significativa por NT para YSD y CNTD (0,0052 y 0,0141 respectivamente). Las RALL de NT1 procesan más raíces de yuca y al utilizar lotes de yucas semiamargas y amargas obtienen mayor cantidad de YSD y CNTD que las de NT2 (Figs. 29 y 30).

Tabla 17. Características de la materia prima utilizada en las RALL, concentración y flujo de cianuro en las AR y el que queda presente y va a las quebradas.

NT	YFD (kg/día)	MSY (%)	YSD (kg/día)	CNT (mg/kg ps)	CNTD (kg/día)	CNC (mg/l)	CNCD (kg/día)	CNP (%)
1	5250	42,04	2207	436,00	0,962	0,94	0,0530	5,50
1	7438	39,07	2906	416,13	1,209	0,10	0,0055	0,46
1	4205	41,84	1759	346,40	0,609	0,04	0,0014	0,22
1	4560	40,42	1843	377,43	0,696	2,37	0,0864	12,42
1	6125	41,27	2528	187,71	0,474	3,09	0,1416	29,83
1	6000	45,42	2725	234,64	0,639	0,23	0,0154	2,41
2	3600	46,07	1659	137,91	0,229	0,77	0,0261	11,42
2	2550	42,81	1092	348,63	0,381	0,13	0,0036	0,94
2	4940	44,74	2210	237,26	0,524	0,28	0,0173	3,30
2	2320	41,94	973	478,24	0,465	0,20	0,0037	0,79
2	2188	38,03	832	213,99	0,178	0,09	0,0020	1,11
2	2700	38,27	1033	531,31	0,549	0,33	0,0110	2,01
1+2	4323	41,83	1814	328,80	0,576	0,71	0,0306	5,87

**Nota:** YFD = yuca fresca rallada por día; MSY = media de materia seca en yuca; YSD = yuca seca por día; CNT = Cianuro total en yuca en peso seco; CNTD = cianuro total en yuca por día; CNC = cianuro en C; CNCD = Cianuro en C por día; CNP = % de cianuro presente en AR y que va a las quebradas.

Los datos de las variables CNC y CNCD son normales pero sus varianzas no son homocedásticas, por lo cual se aplicó test no paramétrico de *Mann-Whitney* y no encontramos diferencias significativas debido al NT.

En un reciente estudio hecho en la RALL 45 de NT1, encontraron que la concentración de CNT en las yucas procesadas ese día era de 409 mg/kg ps (Gallego y Garcés, 2006) y en otro realizado en Brasil este fue de 444 mg/kg ps (Cereda and Takahashi, 1966), valor muy semejante al de las RALL 3 y 16 de NT1 (436 y 416 mg/kg, ps) y RALL 46 de NT2 (478 mg/kg, ps) lo cual nos muestra que utilizan por igual el mismo tipo de materia prima, por tal motivo no hay diferencia significativa por NT. Las variedades de alto rendimiento usadas generalmente en todo Asia contienen altas cantidades de HCN porque en Tailandia para la producción de 200 t/día de ALM se necesitan 800 t de raíces de yuca que contienen cerca de (30 mg/l) en CNC equivalente a 13 mg/l de HCN en AR; en Vietnam procesadores en escala pequeña vierten en sus AR 28 mg/l de HCN (FAO and IFAD, 2001), valor muy semejante a la media de las RALL de NT2.

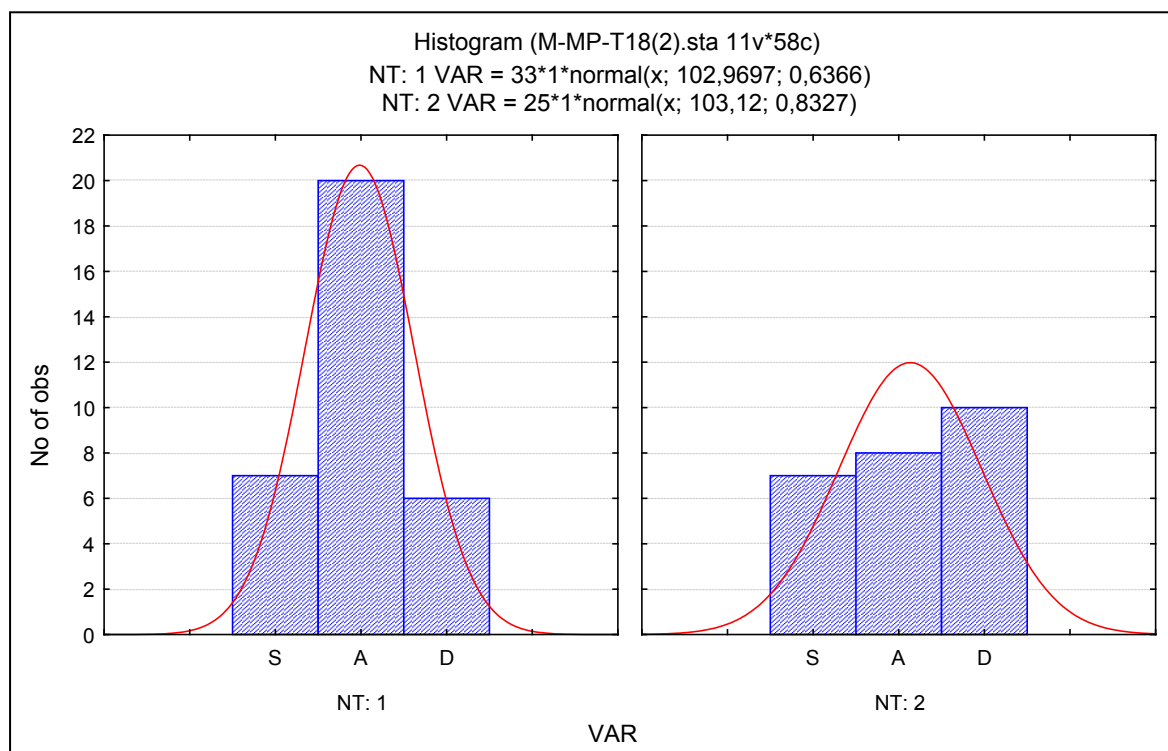
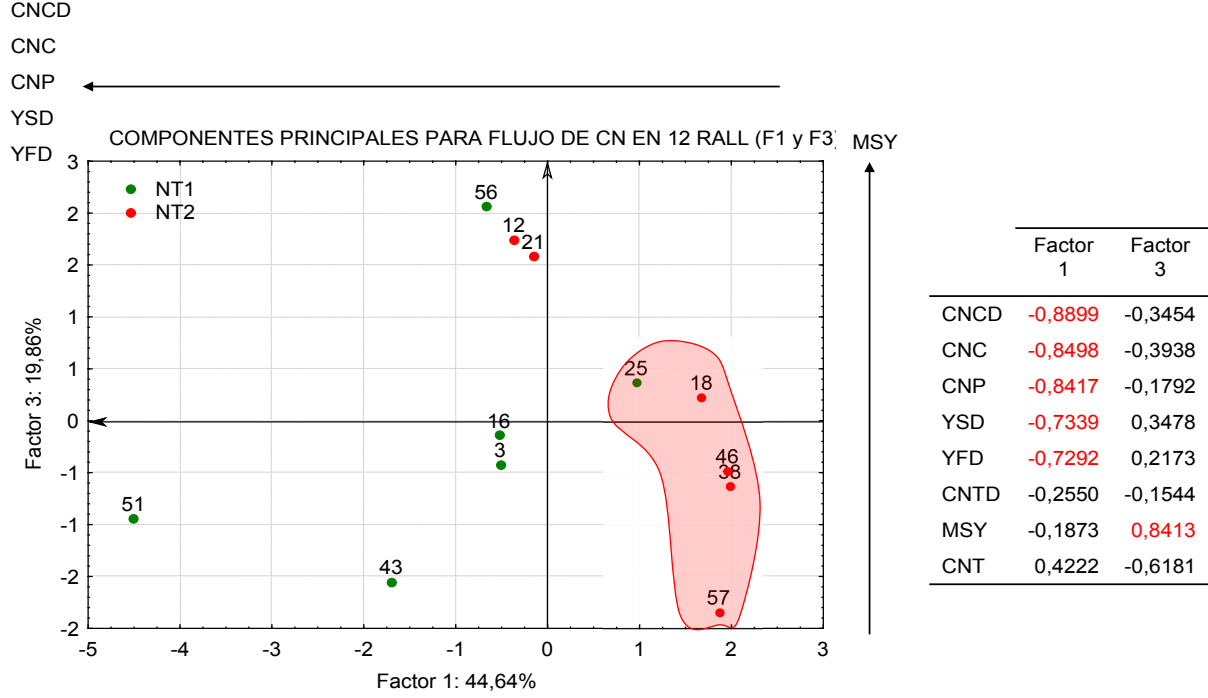
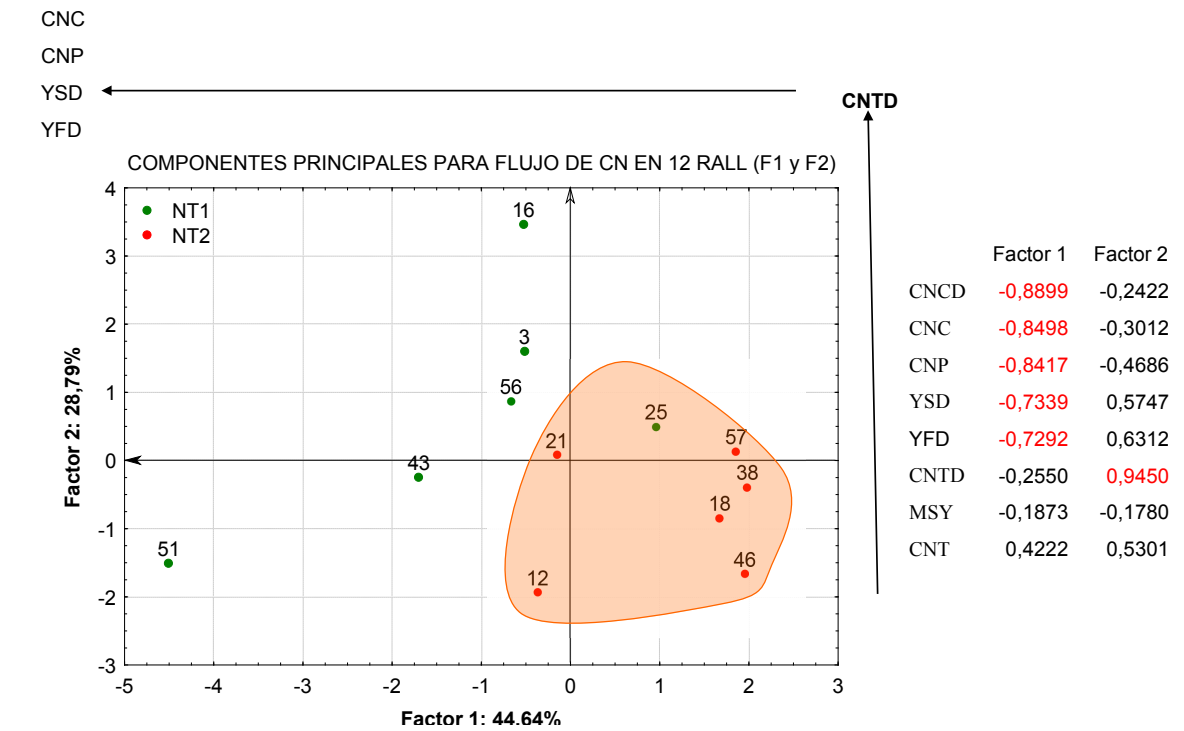


Figura 29. Histograma de lotes de raíces de yuca (semiamarga=S, amarga=A y dulce=D) por nivel tecnológico (NT1 y NT2) de las RALL.

Tabla 18. Resultados del test de la *t de Student* (10 grados de libertad) para la comparación de medias por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) de la concentración y flujo de cianuro de la yuca a las AR de las RALL y test de homocedasticidad de *Levene* (10 grados de libertad). Se ha aplicado el test de la *U de Mann-Whitney* para la variable CNC y CNCD porque sus varianzas no son homocedásticas.

	MEDIAS		<i>t</i>	p	D.E.		<i>F</i> Levene (1,gl)	p Levene		
	NT1	NT2			NT1	NT2				
MSY (%)	41,68	41,98	-0,187	0,8553	2,13	3,30	1,5269	0,2448		
YSD (kg/día)	2328,11	1299,79	3,561	<b>0,0052</b>	470,07	528,64	0,0584	0,8139		
CNT (mg/kg ps)	333,05	324,56	0,112	0,9129	100,46	155,97	1,9476	0,1931		
CNTD (kg/día)	0,77	0,39	2,967	<b>0,0141</b>	0,27	0,15	2,0088	0,1868		
CNC (mg/l)			1,532	0,1564			13,7169	<b>0,0041</b>		
CNCD (kg/día)			1,745	0,1117			8,9835	<b>0,0134</b>		
CNP* (%)	5,04	3,25	0,735	0,4793	3,54	2,08	2,4597	0,1479		
	Rank Sum NT1	Rank Sum NT2	<i>U</i>	<i>Z</i>	p-level	<i>Z</i>	p-level	n NT1	n NT2	2*1sided
CNC	43	35	14	0,6405	0,5218	0,6405	0,5218	6	6	0,5887
CNCD	46	32	11	1,1209	0,2623	1,1209	0,2623	6	6	0,3095

**Nota:** \* CNP ha sido transformada mediante  $\log_{10}(x+1)$ , aunque el valor de medias y desviación estándar se presentan ya destransformados.



	Mean NT1	Mean NT2	t-value	p	Std.Dev. NT1	Std.Dev. NT2	Levene	p
Factor 1	-1,16	1,16	-2,636	0,0249	1,8464	1,1075	0,4742	0,5067
Factor 2	0,77	-0,77	1,991	0,0745	1,6921	0,8750	1,1286	0,3131
Factor 3	-0,10	0,10	-0,266	0,7958	1,2492	1,3819	0,2224	0,6473

Figura 30. Componentes Principales para Flujo de CN en 12 RALL por NT (F1, F2 y F3).

### 5.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS VERTIDOS DE LAS RALLANDERIAS (SITIOS C)

Los 12 sitios de muestreo C se encuentran localizados a la salida de los tanques de sedimentación en las RALL de NT2 y al final del recorrido de los canales de sedimentación. Los resultados se presentan en la Tabla 19 con los parámetros fisicoquímicos: Caudal (Q), Temperatura (TEMP), pH, Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Cianuro (CN), Nitrato ( $NO_3^-$ ), Nitrito ( $NO_2^-$ ), Amonio ( $NH_4$ ), Nitrógeno Total (NTOT), Caudal (Q), Volumen de vertidos por día (VDIA), Sólidos Totales por día (STD), Sólidos Suspendidos Totales por día (SSTD), Sólidos Disueltos totales por día (SDTD), Demanda Bioquímica de Oxígeno por día ( $DBO_5D$ ), Demanda Química de Oxígeno por día (DQOD), Cianuro por día (CND), Nitrógeno contenido en Nitrato ( $NNO_3D$ ), Nitrógeno contenido en Nitrito ( $NNO_2D$ ), Nitrógeno contenido en Amonio ( $NNH_4D$ ), Nitrógeno Total por día (NTOTD) y Carga Contaminante (CC) por NT y la media de estos. Encontramos que estos valores son en algunos casos casi semejantes como la TEMP, pH y DQO al comparar la media con los datos del estudio de la investigadora de la Universidad del Valle en su estudio con 2 RALL (Rojas, 1999) son mayores en  $NNO_3$ ,  $NNO_2$  y SST y menores en  $DBO_5$ , CN, ST, SDT y CC; pero en general los datos nos muestran la alta carga contaminante de estos vertidos sin importar el tipo de NT de la RALL.

En la Tabla 20 se presentan el test de la *t de Student* para la comparación de medias por NT solo pH, DQO,  $NH_4^{**}$ , Q, STD\*, SSTD\*, SDTD,  $NNO_2D$ ,  $NNH_4D^{**}$  y CC tienen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Para la normalización y homocedasticidad de los datos se transformaron OD\*, ST\*, SST\*,  $NO_3^*$ , STD\* y SSTD\* por su  $\log_{10}$ ; el  $NH_4^{**}$  y  $NNH_4^{**}$  por su raíz cuadrada;  $NNO_3D^{**}$ ,  $NO_3D^{**}$  y NTOTD\*\* por raíz 4ª; CN\*\* por raíz 4ª de CN-0,0849; CND\*\* por raíz 10ª y DQOD\*\*\* por el inverso. Para CN, NTOT, DQOD, CND,  $NNO_3D$  y NTOTD se hizo test no paramétrico de *Mann-Whitney* y encontramos que solo hay diferencias significativas entre NT para DQOD.

El pH es menos ácido en las rallanderías de NT1 (5,28) que en las de NT2 (4,24), ver gráficas 31 y 32; en Brasil en factorías grandes está entre 3,8 - 5,2 en la India en factorías medianas es de 4,5 - 5,6 en Tailandia para factorías medianas 3,4 - 6,5 y para las grandes 4,5 - 6,5 (FAO and IFAD, 2001); en Colombia se reportan datos de 4,22 - 5,59 (Chaux y Vergara, 2005), 4,2 - 6,5 (Paz y Piamba, 2005) y 4,14-6,87 (Vergara *et al.*, 2008), lo cual nos muestra la tendencia ácida de estas AR que hace indispensable la corrección de pH para posibles tratamientos biológicos.

El amonio es mayor en las RALL de NT1 (1,16 mg/l) que en las de NT2 (0,40 mg/l), (Figs. 31 y 32). En Colombia se reportan rangos de 0-3 mg/l (Vergara *et al.*, 2008); igualmente sucede con el DQO que es superior en NT1 (5714 mg/l) que en las de NT2 (4024 mg/l); en la India encontramos valores semejantes (5631-6409 mg/l), pero valores muy elevados en factorías medianas en Tailandia (4950-36840 mg/l) y factorías grandes de Brasil entre 6280-51200 mg/l

(FAO and IFAD, 2001); en Colombia valores entre 5579,9-1799 mg/l (Chaux y Vergara, 2005), 7965,5-3447,4 mg/l (Paz y Piamba, 2005), 26700-1290 mg/l (Vergara *et al.*, 2008) y 2600-4500 mg/l (Rojas,1999).

Tabla 19. Características fisicoquímicas en los vertidos de las RALL.

RALL	3	16	25	43	51	56		12	18	21	38	46	57		
NT	1	1	1	1	1	1		2	2	2	2	2	2		
QB	LCHA	LCHA	LCHA	TIEM	TIEM	MOND	MEDIA	LCAS	QUIM	LCHA	TIEM	TIEM	VERG	MEDIA	MEDIA
SC	QUIN	QUIN	QUIN	MOND	MOND	MOND	NT1	QUIN	QUIN	QUIN	MOND	MOND	MOND	NT2	NT1+NT2
TEM (C°)	19,5	22,6	23	20,2	20,5	20,3	21	18,9	21,3	21,7	21,4	20,4	19,8	20,6	20,8
pH	5,4	5,1	6,5	5,8	4	4,8	5,3	4,8	4,2	4,2	4	4,4	3,9	4,2	4,76
OD (mg/l)	1,94	0,4	0,7	3,12	0,69	0,68	1,26	2,39	0,6	0,9	0,3	0,35	0,4	0,82	1,04
CE (µS/cm)	726	658	920	742	1004	990	840	800	597	541	1017	638	613	701	771
ST (mg/l)	2779	1240	1740	4663	5844	1808	3012	3561	870	760	1194	870	1404	1443	2228
SST (mg/l)	2291	880	1340	4171	5213	1090	2498	3122	580	540	714	460	960	1063	1780
SDT (mg/l)	488	360	400	492	631	718	515	439	290	220	480	410	444	381	448
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	816	1217	1466	950	88	2081	1103	478	1116	188	366	2081	2795	1171	1137
DQO (mg/l)	4094	3839	6544	5884	6954	6969	5714	3565	3893	2942	3462	4209	6073	4024	4869
CN (mg/l)	0,94	0,095	0,126	2,37	3,09	0,232	1,142	0,77	0,126	0,153	0,201	0,085	0,326	0,277	0,71
NO <sub>3</sub> (mg/l)	35,4	16,2	21,9	72,15	27,5	6,4	29,93	84,3	13,65	11,15	15,8	30,4	13,45	28,13	29,03
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,92	0,87	0,825	1,15	1,52	1,08	1,061	1,3	0,805	0,78	1,09	1,09	0,79	0,976	1,02
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,83	0,733	0,521	1,345	2,06	1,48	1,162	0,128	0,539	0,395	0,22	0,584	0,561	0,404	0,78
NTOT (mg/l)	8,96	4,51	5,63	17,78	8,3	2,92	8,01	19,65	3,76	3,07	4,09	7,69	3,73	7	7,51
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,009	0,008	0,017	0,005	0,007	0,009	0,009	0,0054
VD (m <sup>3</sup> /día)	56,38	58,32	33,67	36,45	45,69	66,1	49,44	33,92	28,48	61,14	18,25	23,32	33,77	33,15	41,29
STD (kg/día)	156,7	72,32	58,59	170	267	119,5	140,7	120,8	24,78	46,47	21,79	20,29	47,41	46,92	93,8
SSTD (kg/día)	129,2	51,32	45,12	152	238,2	72,05	114,7	105,9	16,52	33,02	13,03	10,73	32,42	35,27	74,96
SDTD (kg/día)	27,51	21	13,47	17,93	28,83	47,46	26,03	14,89	8,26	13,45	8,76	9,56	14,99	11,65	18,84
DBO <sub>5</sub> D (kg/día)	46,01	70,98	49,36	34,63	4,02	137,6	57,09	16,21	31,78	11,49	6,68	48,53	94,39	34,85	45,97
DQOD (kg/día)	230,8	223,9	220,3	214,5	317,7	460,7	278	120,9	110,9	179,9	63,18	98,14	205,1	129,7	203,83
CND (kg/día)	0,053	0,006	0,004	0,086	0,141	0,015	0,051	0,026	0,004	0,009	0,004	0,002	0,011	0,009	0,0301
NNO <sub>3</sub> D (kg/día)	0,454	0,215	0,168	0,598	0,286	0,096	0,303	0,65	0,088	0,155	0,066	0,161	0,103	0,204	0,25
NNO <sub>2</sub> D (kg/día)	0,016	0,015	0,008	0,013	0,021	0,022	0,016	0,013	0,007	0,015	0,006	0,008	0,008	0,009	0,01
NNH <sub>4</sub> D (kg/día)	0,036	0,033	0,013	0,038	0,072	0,075	0,045	0,003	0,012	0,019	0,003	0,01	0,015	0,01	0,03
NTOTAL (kg/día)	0,51	0,26	0,19	0,65	0,38	0,19	0,363	0,67	0,11	0,19	0,07	0,18	0,13	0,224	0,29
CC (kg/día)	236,8	173,3	151,5	246,6	346,8	317,3	245,4	157	74,67	100,6	38,54	75,79	163,7	101,7	173,55

En la DBO<sub>5</sub> no encontramos diferencias significativas debido al NT. La media es de 1204 mg/l, con un máximo de 2795 mg/l y un mínimo de 888 mg/l, que están por debajo de otros estudios hechos en la zona: 2822, 3947, 5150-3190, 8910-689 y 2142-2907, todos ellos expresados en mg/l (CRC, 2004a; Torres y Rodríguez, 2003; Rodríguez *et al.*, 2004; Vergara *et al.*, 2008; Paz y Piamba, 2005, respectivamente). En factorías medianas en Tailandia y grandes de Brasil, encontramos valores muy elevados (2508-16880 mg/l y 1400-34300 mg/l, respectivamente); en la India 4600-5200 mg/l, en Brasil en factorías pequeñas 5000 mg/l, y en Tailandia en factorías grandes 3680 mg/l (FAO and IFAD, 2001).

Los ST tienen una media de 2227,8 mg/l con un máximo de 5844 mg/l y un mínimo de 760 mg/l, que están por debajo de la media de 3454 mg/l (Molina, 2001); 3101,4 mg/l con valores entre 4325-1682 mg/l (Chaux y Vergara, 2005). En la India reportan datos de 4000-6600 mg/l; en

Tailandia para factorías medianas y grandes entre 234-2592 mg/l y 7604 mg/l, respectivamente; en Brasil los valores son muy altos para las factorías grandes y pequeñas 5800-56460 mg/l y 5000 mg/l respectivamente; en cambio en Vietnam los valores están por debajo de la media de los nuestros de 1500 mg/l (FAO and IFAD, 2001).

Tabla 20 . Resultados del test de la *t de Student* (10 grados de libertad) para la comparación de las medias por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) y *test de homocedasticidad de Levene* (10 grados de libertad) de los vertidos de las rallanderías.

	MEDIAS		t	p	D.E.		F Levene (1,gl)	p Levene
	NT1	NT2			NT1	NT2		
TEMP (°C)	21,02	20,58	0,592	0,5673	1,427	1,087	0,955	0,3516
pH	5,283	4,238	2,834	0,0177	0,849	0,309	3,449	0,0930
OD* (mg/l)	2,084	1,742	0,785	0,4506	1,519	1,447	0,271	0,6138
CE (µS/cm)	840,00	701,00	1,467	0,1731	149,35	177,64	0,029	0,8686
ST* (mg/l)	2355,80	1227,07	1,763	0,1084	2,023	1,768	0,948	0,3533
SST* (mg/l)	1865,71	754,67	1,997	0,0738	2,262	2,123	0,304	0,5937
SDT (mg/l)	490,09	472,40	1,930	0,0824	136,51	102,15	0,440	0,5221
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1103,00	1170,67	-0,133	0,8971	668,92	1054,80	1,845	0,2042
DQO (mg/l)	5714,00	4024,00	2,320	0,0428	1412,12	1090,60	1,192	0,3005
CN ** (mg/l)	0,528	0,172	1,349	0,2072	0,115	0,090	3,045	0,1116
NO <sub>3</sub> * (mg/l)	23,290	20,922	0,236	0,8184	2,250	2,148	0,004	0,9508
NO <sub>2</sub> (mg/l)	1,061	0,976	0,620	0,5493	0,257	0,216	0,005	0,9443
NH <sub>4</sub> ** (mg/l)	1,103	0,381	3,372	0,0071	0,071	0,028	2,321	0,1586
NTOT* (mg/l)	6,790	5,465	0,566	0,5839	1,870	2,015	0,085	0,7766
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,002	0,009	-4,518	0,0011	0,000	0,004	4,004	0,0733
VD (m <sup>3</sup> /día)	49,435	33,147	2,015	0,0716	12,931	14,999	0,047	0,8324
STD* (kg/día)	113,012	37,758	2,930	0,0150	1,848	1,975	0,000	0,9966
SSTD* (kg/día)	89,501	23,222	2,804	0,0187	2,044	2,553	0,262	0,6201
SDTD (kg/día)	23,511	14,536	2,844	0,0174	11,982	3,135	3,573	0,0880
DBO <sub>5</sub> D (kg/día)	57,090	34,848	0,975	0,3523	45,100	32,947	0,244	0,6318
DQOD*** (kg/día)	257,310	111,646	-3,059	0,0121	0,099	0,025	3,199	0,1040
CND**(kg/día)	0,028	0,007	1,913	0,0847	0,000	0,000	4,771	0,0538
NNO <sub>3</sub> D**(kg/día)	0,266	0,157	1,183	0,2643	0,000	0,000	0,001	0,9752
NNO <sub>2</sub> D (kg/día)	0,016	0,009	2,538	0,0295	0,005	0,004	0,242	0,6335
NNH <sub>4</sub> D**(kg/día)	0,204	0,097	3,854	0,0032	0,060	0,033	1,474	0,2526
NTOTD**(kg/día)	0,335	0,179	1,628	0,1346	0,000	0,000	0,020	0,8892
CC (kg/día)	245,37	101,73	3,846	0,0032	76,873	49,592	0,886	0,3687

**Nota:**\* log<sub>10</sub> (x+1); \*\* NNH<sub>4</sub> D = raíz cuadrada, NNO<sub>3</sub> D, NO<sub>3</sub> D y NTOTD =raíz 4ª, CN = raíz 4ª de (x-0.0849) y CND = raíz 10ª; \*\*\* 1/x; el valor de medias y desviación estándar se presentan destransformados.

Los SST tienen valores promedio de 1780,1 mg/l, con valores entre 5213-460 mg/l que son superiores a otros datos reportados en la zona: 468 y 468,6 mg/l por (CRC, 2004a) y (Molina, 2001) respectivamente; pero semejantes al encontrado en otros estudios 774-1860 mg/l y 497,5-2783 mg/l por (Chaux y Vergara, 2005) y (Paz y Piamba, 2005) y por encima de la media de 1498,7 con valores entre 7860-190 mg/l (Vergara *et al.*, 2008). En otras partes del mundo los valores están muy por encima de los nuestros como en las factorías grandes de Brasil con valores entre 950-16000 mg/l, pero semejantes en la India entre 1868-2960 mg/l y en Tailandia en factorías grandes con promedios de 2642 mg/l (FAO and IFAD, 2001).

El CN también no es significativo por NT, con valor promedio de 0,71 mg/l con valores de 3,09-0,09 mg/l que son semejantes a 1,2 mg/l (Torres y Rodríguez, 2003), pero inferiores a otros datos reportados en la región: 2,8 mg/l y 1,2-4 mg/l (Molina, 2001 y Rodríguez *et al.*, 2004, respectivamente). En otras regiones los valores son superiores a los nuestros como en Brasil en pequeñas y grandes factorías 60 mg/l y 22,0-27,1 mg/l, respectivamente; en Tailandia en factorías grandes 9 mg/l (FAO and IFAD, 2001).

En el NTOT encontramos una media de 7,51 mg/l con valores de 19,65-2,92 mg/l que están muy por debajo a los encontrados en otro estudio realizado en la zona 40,2-73,4 mg/l (Rojas, 1999). En la India también están por encima de nuestros valores 66-72 mg/l, igual sucede en las factorías medias y grandes de Tailandia 84-375 mg/l y 172 mg/l, respectivamente, y mucho más en las factorías grandes de Brasil, con 140-1150 mg/l; solo en Vietnam encontramos valores similares al nuestro de 15 mg/l (FAO and IFAD, 2001).

En la CE la media es de 770,5  $\mu\text{S/cm}$  con valores de 1017-541  $\mu\text{S/cm}$ , semejantes al encontrado en otros estudios en la zona, con 855,2  $\mu\text{S/cm}$  (Chaux y Vergara, 2005) y en otras regiones del Cauca 963-653,9  $\mu\text{S/cm}$  (Vergara *et al.*, 2008) y 800-500  $\mu\text{S/cm}$  (CRC, 2004a).

Con respecto a la carga contaminante (CC), sí que hemos encontrado diferencias significativas debido al NT, donde CC en NT1 (245,37 kg/día) es significativamente mayor que en NT2 (101,73 kg/día). Aunque los flujos instantáneos de NT1 son muy pequeños comparados con los de NT2, éstos van directamente a las quebradas sin ser retenidos durante unas 8 h, lo que impide que los sólidos sedimenten y que se den procesos químicos y enzimáticos (Figs. 31 y 33). También son significativamente mayores los flujos de NT1 para STD\* (NT1: 140,68 kg/día; NT2: 46,92 kg/día), SSTD\* (NT1: 114,65 kg/día; NT2: 35,27 kg/día), SDTD (NT1: 26,03 kg/día; NT2: 11,65 kg/día), y los de nitrógeno de  $\text{NNO}_2\text{D}$  (NT1: 0,016 kg/día; NT2: 0,009 kg/día), de  $\text{NNH}_4\text{D}^{**}$  (NT1: 0,045 kg/día; NT2: 0,010 kg/día). Sólo el caudal (Q) es mayor en las de NT2 (0,0092  $\text{m}^3/\text{s}$ ) que en las de NT1 (0,0015  $\text{m}^3/\text{s}$ ), consecuencia obvia de los diferentes procedimientos de verter las RALL sus AR.

En general las AR de las RALL son ácidas debido a los altos contenidos de ácido láctico y acético y en menor proporción de ácido fórmico, propiónico y butírico (Rojas, 1999) sobre todo en las de NT2 porque son retenidas en los tanques de sedimentación por más de 8 h. Algunos ralladeros utilizan esta agua para quitar el óxido de sus herramientas de trabajo, otros las usan para regar pasto de corte (*Panicetun violaceum*) y caña panelera (*Saccharum officinarum*), que algunos agricultores los siembran en las laderas como barreras vivas para evitar la erosión.

## Gráficas de características fisicoquímicas de los vertidos (C) en 12 RALL por NT

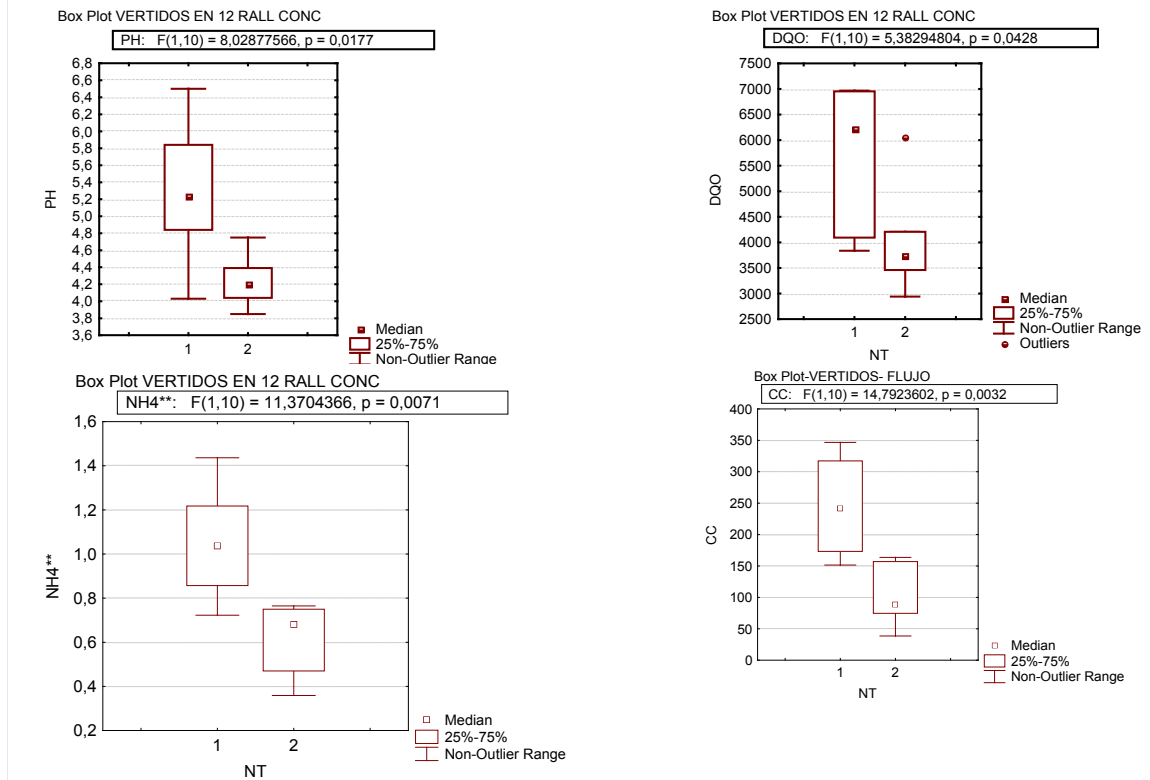
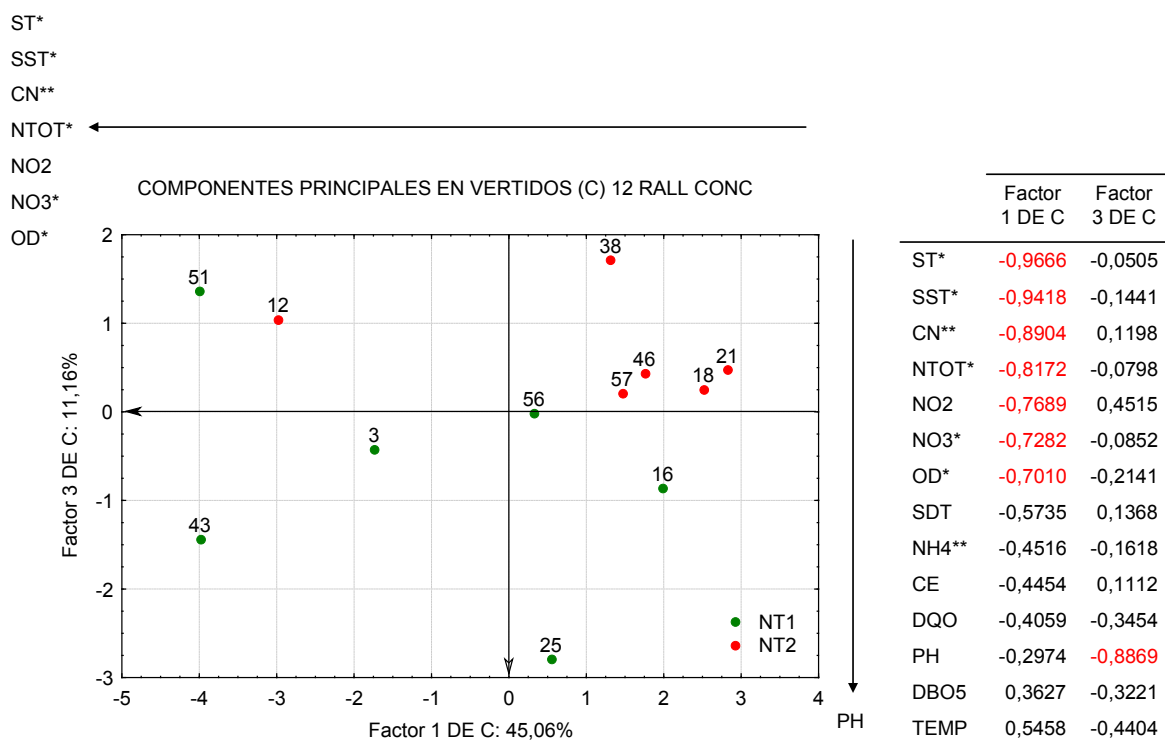
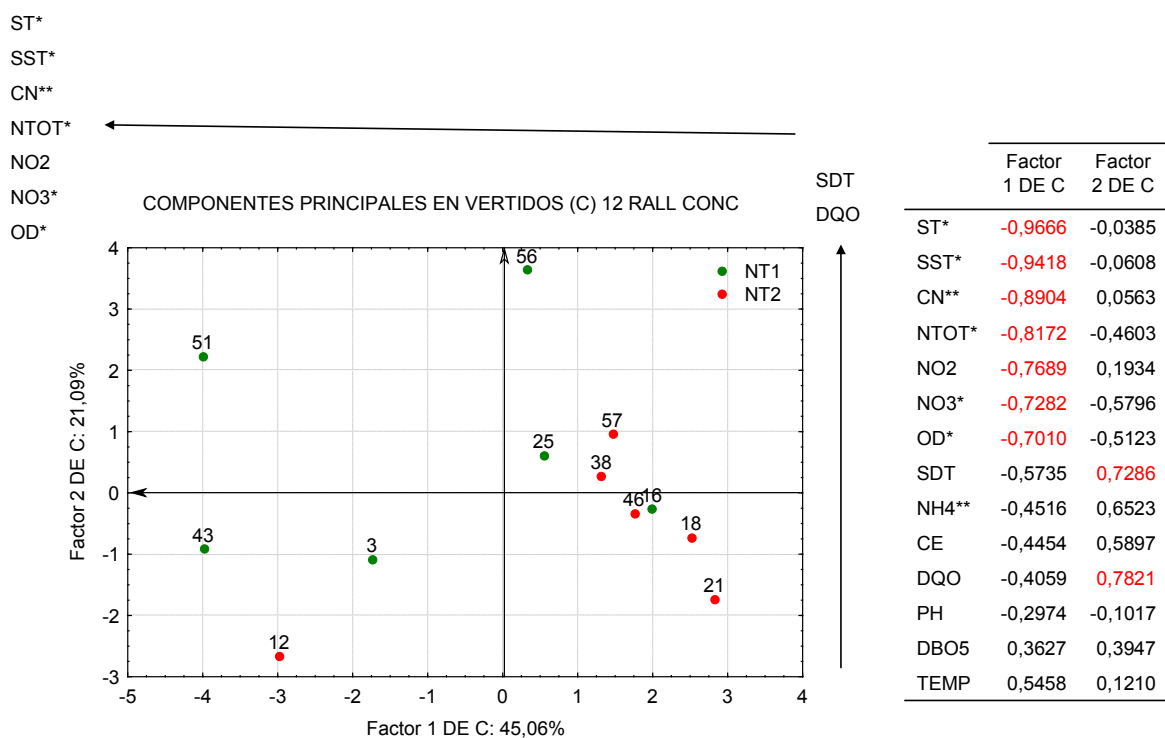
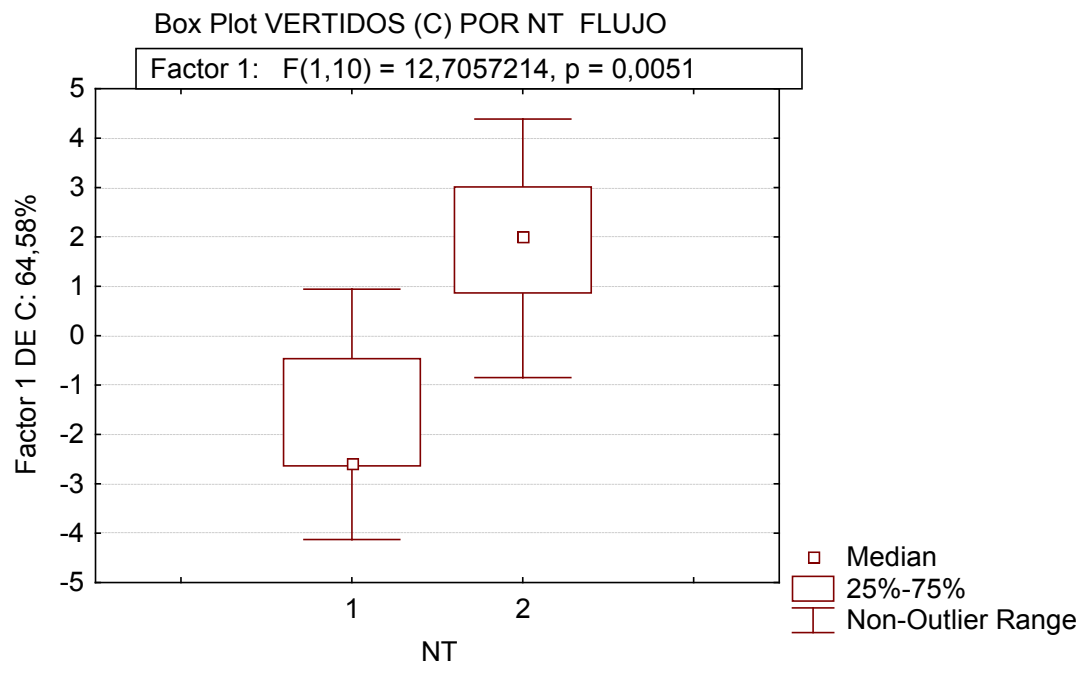
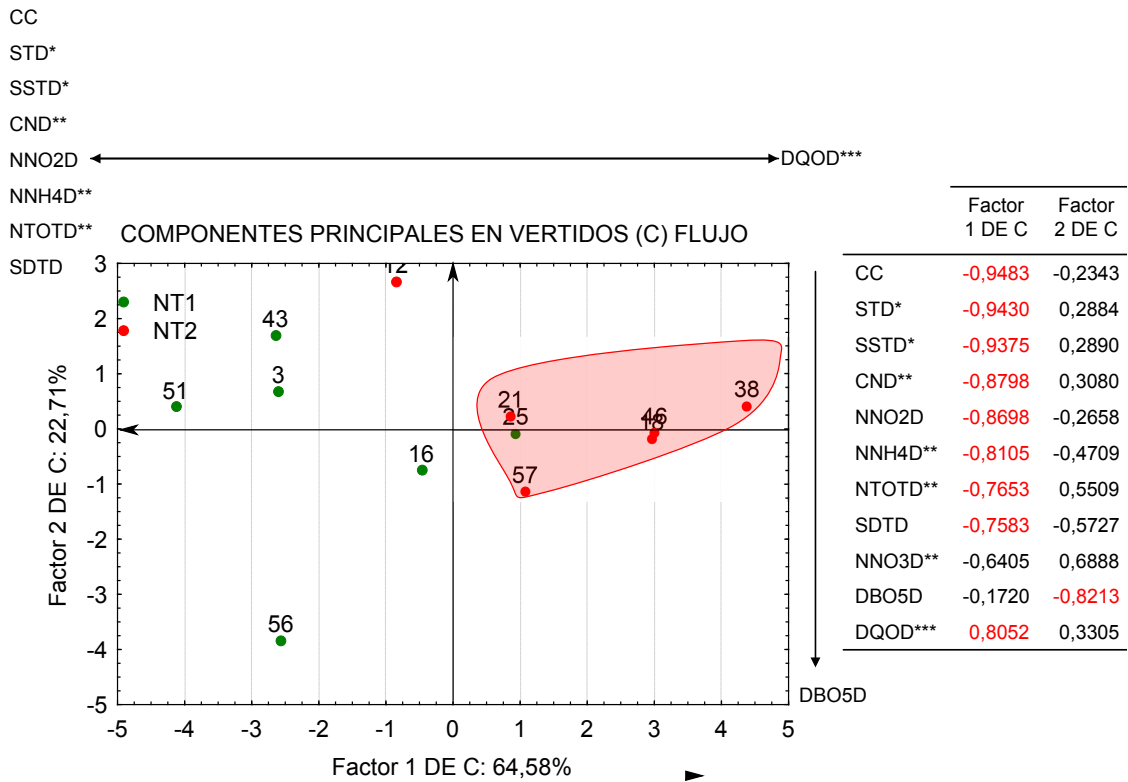


Figura 31. Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos: pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y Carga Contaminante (CC) de las AR de las RALL (lugar de muestreo C), teniendo en cuenta el NT de la RALL.



	Mean NT1	Mean NT2	t-value	p	Std.Dev. NT1	Std.Dev. NT2	Levene	p
Factor 1	-1,146	1,146	-1,714	0,1172	2,5070	2,1075	0,9858	0,3442
Factor 2	0,705	-0,705	1,499	0,1649	1,8810	1,3289	0,9674	0,3485
Factor 3	-0,692	0,692	-2,242	0,0488	1,3948	0,5842	2,1220	0,1759

Figura 32. Componentes Principales de Vertidos (Concentración) y Comparación de Medias (*t-Student*) de los factores de las RALL agrupadas por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) y *test de homocedasticidad de Levene* (10 grados de libertad).



	Mean NT1	Mean NT2	t-value	p	Std.Dev. NT1	Std.Dev. NT2	Levene p
Factor 1	-1,909	1,909	-3,565	0,0051	1,8203	1,8893	0,0489
Factor 2	-0,318	0,318	-0,680	0,5117	1,9101	1,2669	0,6492

Figura 33. Componentes Principales de Vertidos (Flujo) y Comparación de Medias (*t-Student*) de los factores de las RALL agrupadas por NT (n de NT1=6 y n de NT2=6) y *test de homocedasticidad de Levene* (10 grados de libertad).

## 5.2 EXPERIMENTO B: VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS VERTIDOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Valoramos los efectos de los vertidos sobre la calidad ecológica de las quebradas receptoras, empleando la fisicoquímica del agua fluvial (FQF) y la estructura de la taxocenosis de macroinvertebrados bentónicos (MIB), comparando la FQF y MIB en los subtramos A y B (aguas arriba y aguas debajo de donde cae el vertido).

Primero analizamos la campaña de toma de muestras entre A y B en los tramos de las quebradas afectados por los vertidos de cada una de las 12 RALL, coincidiendo con la campaña de caracterización de la RALL correspondiente y de su vertido. Se escogieron en las quebradas que son contaminadas con AR de las RALL, 5 sitios de muestreo como control: 3A, 38A, 12A, 18A y 57A; los dos primeros con recorridos desde su nacimiento hasta su desembocadura de 9000 m y 8000 m aproximadamente (localizados a un 30 % y un 20 % de su nacimiento). Posteriormente analizaremos los efectos de los vertidos en las quebradas la Chapa (RALL 3 y 21) y Tiembra (RALL 38 y 51), comparando los sitios A y B y realizando un seguimiento mensual, durante 5 meses (Anexo 2).

### 5.2.1 VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS VERTIDOS DE 12 RALLANDERÍAS

Los resultados se presentan en la Tabla 21 con los parámetros fisicoquímicos: Temperatura (TEMP), pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Saturación de Oxígeno disuelto (SATOD), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Cianuro (CN), Nitrato ( $NO_3$ ), Nitrito ( $NO_2$ ), Amonio ( $NH_4$ ), Nitrógeno Total (NTOT), Caudal (Q), Volumen de vertidos por día (VOLD), Sólidos Totales por día (STD), Sólidos Suspendidos Totales por día (SSTD), Sólidos Disueltos totales por día (SDTD), Demanda Bioquímica de Oxígeno por día ( $DBO_5D$ ), Demanda Química de Oxígeno por día (DQOD), Cianuro por día (CND), Nitrógeno contenido en Nitrato ( $NNO_3D$ ), Nitrógeno contenido en Nitrito ( $NNO_2D$ ), Nitrógeno contenido en Amonio ( $NNH_4D$ ), Nitrógeno Total por día (NTOTD), Carga Contaminante (CC) y los índices bióticos: Densidad (N), Riqueza (S), Diversidad de Shannon ( $H'$ ), Equitatividad (J), *Biological Monitoring Working Party Score System para Colombia* (BMWP), y ASPT por RALL y LUG de muestreo A y B.

El Decreto 1594/84 (ver tabla en Anexo 7) sobre Normas de Calidad para la destinación del recurso en usos del agua en Colombia establece que para preservar flora y fauna el pH debe estar entre 6 y 9; en la Tabla 21 vemos que todos los sitios A lo cumplen pero en B hay cinco sitios que no lo cumplen (12, 18, 43, 51 y 57) debido a las cargas de contaminación que aportan estas RALL y a los bajos caudales que llevan estas quebradas. También establece que la  $DBO_5$  debe ser menor de 30 mg/l para agua cruda para consumo humano pero en cuatro sitios A son mayores a este valor (3, 21, 25 y 51), pero en B hay tres sitios que están por debajo (38, 56 y 57) y cumplen con la norma. Para nitratos y nitritos (10 mg/l y 1 mg/l, respectivamente) solo en 12B (10,4 mg/l) no

cumple para agua cruda para consumo humano pero si para uso pecuario (100 y 10 mg/l respectivamente).

En estudio hecho en Camboya (Dany and Eliyan, 2010) donde existen medianas industrias que procesan entre 20-25 t/día e industrias grandes entre 240-250 t/día de almidón de yuca, para la utilización de agua cruda para consumo humano, igual que en Colombia el pH y la DBO<sub>5</sub> deben estar en el mismo rango, pero para la conservación de la biodiversidad en los ríos el primero debe estar entre 6,5-8,5 mg/l (no lo cumplen 12B, 38B y en A y B en 18 , 43 , 46 , 51 y 57) el segundo entre 1-10 mg/l (solo lo cumplen 12A, 18A, 38A, 43A y 38B) y el OD entre 2,0-7,5 mg/l que se cumple en todos los sitios A y B. Para la utilización del agua cruda en este estudio también la DQO debe ser menor de 50 mg/l que solo cinco sitios en A (18, 38, 43, 56 y 57) lo cumplen y en B solo dos (38 y 56) y los SST menor de 60 mg/l que lo cumplen todos los sitios en A, en B solo tres no lo cumplen (12, 43 y 51).

En un estudio realizado en la India con índices bióticos (Subramanian and Sivaramakrishnan, 2007) en el río Sharavathy, encontraron valores muy similares a los nuestros en el sitio Nellibedu (altitud=550 m.): S=12, BMWP=92 y ASPT=8 y afirman que un valor alto de ASPT usualmente caracteriza a sitios limpios. En nuestra tabla solo encontramos valores altos en los sitios de control 12A y 57A y sobre el río Mondomo en 56A. En otro estudio hecho en este país (Kasthuri *et al.*, 2007) nos manifiestan que la presencia de nitratos (valores entre 0,95 y 14,28 mg/l son mayores que los nuestros que están entre 0,15 y 10,40 mg/l) en el agua son debidos a la oxidación biológica de las aguas residuales y representa el sabor salado del agua, alta dureza, una mayor proporción de materias sólidas y cuando la concentración de nitratos es superior a 40 mg/l, produce metahemoglobinemia (la hemoglobina es incapaz de transportar el oxígeno de manera efectiva a los tejidos corporales). Para nitritos entre 0,09 y 0,30 mg/l, nosotros entre 0,047 (12A) y 0,416 mg/l (12B) y la OMS aconseja que los valores sean menores de 0,1 mg/l, que en nuestro caso solo cumplen en A (12, 21, 38, 56 y 57) y en B (38, 56 y 57).

La EPA ([http://www.epa.gov/safewater/wot/pdfs/book\\_waterontap\\_en\\_espanol\\_full.pdf](http://www.epa.gov/safewater/wot/pdfs/book_waterontap_en_espanol_full.pdf)) aconseja para agua potable que el nitrito sea menor de 1 mg/l y que el agua no sea hervida porque aumenta la concentración y previene que los bebés menores de seis meses que tomen agua que contenga una concentración de nitratos mayor a la permitida por el NMC (nivel máximo de contaminante), podrían enfermarse gravemente que, de no ser atendidos, podrían fallecer (los nitratos se convierten en nitritos en los intestinos. Una vez que hayan sido absorbidos en el torrente sanguíneo, los nitritos impiden que la hemoglobina transporte el oxígeno). Los síntomas incluyen: dificultad respiratoria y síndrome de bebé azul, además nos dice que las fuentes de contaminación comunes del agua potable son las aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; erosión de depósitos naturales; lixiviación de tanque sépticos y de redes de alcantarillado.

En España en un estudio realizado en la cuenca del río Ebro (Lassaletta, *et al.*, 2009) nos informan que las concentraciones deben estar en 0,44 mg/l de NO<sub>3</sub> para río no contaminado, solo 21A (0,15 mg/l), 21B (0,40 mg/l) y 56A (0,20 mg/l) lo cumplen. También nos dicen que 8,8 mg/l es el umbral propuesto para la protección de las especies de agua dulce más sensibles, solo en 12B

(10,4 mg/l) no se cumple y que la concentración máxima permisible establecida por la Directiva (1991/696/EC) sobre nitratos es de 50 mg/l que en nuestro caso ningún sitio de muestreo llega a ese valor.

En el sureste de Brasil en el Estado de Minas Gerais en Serra do Cipó (localizada en la parte central del Estado) se realizó un estudio sobre cinco ríos (Galdean, *et al.* 2000) y encontraron valores más altos que los nuestros en SATOD (53-136% contra 64-83% encontrados de media en B y A),  $\text{NNH}_4$  (0,031-0,588 mg/l; durante el periodo de lluvias, contra 0,08-0,20 mg/l encontrados de media en A y B),  $\text{NNO}_3$  (0,237-0,972 mg/l; durante el periodo seco, contra 0,20-0,49 encontrados en A y B) y valores muy bajos durante el periodo seco de pH de 3,83 y altos en el periodo de lluvias de 8,81; contra 6,68-6,30 encontrados en A y B. También encontraron valores altos de S (65-6) contra 6-4 encontrados de media en A y B y de H' (3,66-1,17) contra 1,53-0,88 encontrados de media en A y B; los valores bajos encontrados en Brasil en el río Cipó son debidos a las descargas de AR de las poblaciones y de las actividades agropecuarias de la zona y por esta razón son semejantes a los valores por nosotros encontrados en B.

En el sur de Nigeria (mayor productor mundial de yuca con alrededor de 30 millones de toneladas) sobre el río Orogodo se realizó un estudio sobre tres lugares para valorar el efecto de las AR del procesamiento de la yuca y de otras fuentes de contaminación sobre los macro invertebrados (Arimoro, *et al.*, 2008). Encontraron en el sitio impactado por las AR (estación II) valores muy bajos de OD (1,50-6,30 mg/l) que se recuperan un poco 7 km aguas abajo en la estación III (4,6-5,6 mg/l) y que son inferiores a los nuestros (2,82-8,60 mg/l en A y 2,30-7,30 mg/l en B); también el pH es muy ácido en la estación II (3,62-5,93) y estación III (1,78-5,02) comparados con los nuestros (6,00-7,42 en A y 5,31-7,35 en B ) igualmente el  $\text{NNO}_3$  de la estación II (0,87-2,89 mg/l) y de la estación III (0,60-2,63 mg/l) son mayores que los nuestros (0,03-0,41 mg/l en A y 0,18-2,36 mg/l en B). Caso contrario sucede con la  $\text{DBO}_5$  que es mucho menor en la estación I (3,19-11,80 mg/l) y en la estación III (2,73-3,90 mg/l) comparados con los nuestros (2-105 mg/l en A y 4-226 mg/l en B), pero en algunos sitios de control (12, 18 y 38) los valores son similares. También los SDT son semejantes en la estación II (4,63-57,70 mg/l) con los nuestros en A (2-47 mg/l) pero en la estación III (2,95-15,40 mg/l) son menores que los nuestros en B (14-103 mg/l). Los valores altos de  $\text{NNO}_3$  y  $\text{DBO}_5$  en nuestro caso son debidos al gran caudal arrojado en tan solo 1 h por la RALL 12 y al bajo caudal de dilución de la quebrada en el mes de Julio.

También encontraron en este estudio 6116 MIB (n=6) en las 3 estaciones, el mayor número de individuos y los que dominan son Annelida de Clase Oligochaeta y Arthropoda del orden Díptera (2306), Hemíptera (586), Ephemeroptera (289), Odonata (102) y el más bajo Plecóptera (26). En el nuestro encontramos 9738 MIB pero predomina Diptera (7381) que representa el 92,91% del total de los Arthropoda (ver Tabla 6 de MIB en Anexo) y también al igual que en Nigeria el Género dominante es *Chironomus* (73,70%). También reportan referente a la estructura de la comunidad de MIB que el mayor valor de H' (3,27) en la estación I y el más bajo en la estación II (H'=2,71) que nos parece un valor muy alto por ser esta la zona más contaminada y similar a la nuestra donde encontramos valores muy bajos (H' entre 0,04 y 1,44 bits) en los sitios B

aunque en algunos sitios A (12, 18, 56 y 57) estos valores ( $H'$  entre 2,30 y 3,40 bits) sean similares a las 3 estaciones africanas.

Eisler (1991), aporta criterios para la protección de la biocenosis de ecosistemas acuáticos continentales frente al cianuro libre ( $\text{HCN}$  y  $\text{CN}^-$ ): para evitar daños mínimos para la mayoría de las especies de peces, este debe estar entre 3 y 5  $\mu\text{g/l}$  de agua (Tabla 6); solo 3 sitios de control en A (12, 38 y 57) lo cumplen y en B solo dos (38 y 57), debido quizás al aumento de caudal en el mes de diciembre y a que por esta fecha las RALL paran su producción; consideran que es letal a exposición aguda entre 300-1000  $\mu\text{g/l}$  que solo se presenta en 12B (710  $\mu\text{g/l}$ ), debido a los bajos caudales del mes de julio y también a que 30 m antes de este sitio hay un tanque de un acueducto para 3 RALL que disminuye bastante el caudal de la quebrada La Cascada. Para agua potable, en Gran Bretaña el  $\text{CN}^-$  debe ser menor de 50  $\mu\text{g/l}$  y en la Tabla 21 vemos que en dos sitios de A (3 y 51) no cumplen con esta norma y en cambio en 4 sitios de B (25, 38, 56 y 57) si cumplen debido al aumento de caudales en noviembre, diciembre y a que casi todas las RALL paran su producción al finalizar el año.

En la Tabla 22 se presenta el test de la *t de Student* de muestras dependientes para la comparación de medias por LUG de muestreo A y B solo la TEMP, no tienen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Para la normalización de los datos se transformaron por su  $\log_{10}(x+1)$ :  $\text{CE}^*$ ,  $\text{ST}^*$ ,  $\text{SST}^*$ ,  $\text{SDT}^*$ ,  $\text{DBO}_5^*$ ,  $\text{DQO}^*$ ,  $\text{BMWP}^*$  y  $\text{N}^*$ ; por  $\log_{10} Q^*$ ,  $\text{CN}^*$ ,  $\text{NO}_2^*$ ,  $\text{NH}_4^*$ ,  $\text{NTOT}^*$ , el  $\text{NO}_3^{***}$  y  $\text{S}^{***}$  por arco tangente ( $x$ ) y  $H'^{**}$  por raíz cuadrada ( $x$ ).

En estudio realizado en la quebrada San Antonio del municipio de la Sierra al sur del Departamento del Cauca, sobre las aguas residuales (ver tabla en Anexo) de dos rallanderías (Ramírez y Velasco, 2001), encontramos que la media de la TEMP, Q y pH son un poco mayores que los nuestros tanto en A como en B y permite la preservación de fauna, flora y agua cruda para consumo humano; llama la atención que el OD en este estudio sea igual en A y B (6.9 mg/l); CE, ST, SDT y  $\text{NO}_2$  son más elevados que los nuestros tanto en A como en B. El  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  son mayores en A pero menores en B, el SST y el DQO son menores que los nuestros tanto en A como en B Solo el CN es igual al valor encontrado por nosotros en A (0,016 mg/l), pero menor en B (0,025 mg/l) estos valores afectan a la mayoría de las especies de peces y larvas de moluscos bivalvos que al igual que en nuestras quebradas, después del vertimiento los niveles de CN aumentan, llegando en algunos casos a niveles letales por exposición aguda.

Entre 1998 y 1999 la CRC realizó en el norte del Cauca un estudio fisicoquímico (ver tabla en Anexo) sobre los ríos Ovejas-Mondomo (sitios de muestreo en la parte media y desembocadura), Quinamayó (parte media y desembocadura), Mandivá y la quebrada La Chapa en la desembocadura (CRC, 2004); presentando en estos tres últimos los valores más críticos en contaminación en: OD (3,0; 4,5 y 2,9 mg/l, respectivamente), SATOD (40, 53 y 34 %, respectivamente),  $\text{DBO}_5$  (26, 110 y 26,4 mg/l, respectivamente), DQO (47, 150 y 66 mg/l, respectivamente) y ST (337, 203 y 350 mg/l, respectivamente).

En la Tabla 21 también encontramos valores críticos de contaminación tanto en A como en B muy similares a los encontrados en este estudio, especialmente en la desembocadura de La Chapa (25 A y B) y en la parte media y desembocadura de Tiembra (43, 46 y 51 en A y B). En los índices bióticos también se observan valores indicadores de contaminación crítica y muy crítica. Los débiles valores de H' indican aguas muy contaminadas y los de BMWP aguas fuertemente contaminadas en la quebrada La Chapa (21 y 25 en A y B) y en la desembocadura de Tiembra (46 y 51 en A y B).

Tal como se muestra en la Fig. 34 y la Tabla 23, en el lugar 12A (La Cascada, afluente de la quebrada La Chapa) encontramos la comunidad de MIB más diversa ( $H'=3,4$  bits) y rica ( $S=14$  géneros/m<sup>2</sup>) entre las consideradas, presentando unos índices de calidad indicadores de aguas medianamente contaminadas de calidad aceptable y de Clase III (BMWP=91 y ASPT=6,5). Las aguas de los sitios A 18, 56 y 57 están medianamente contaminadas ( $H'=1,5-3,0$  bits) o aguas contaminadas de calidad dudosa (BMWP= Clase IV) y en los demás sitios tanto en A como en B las aguas son muy contaminadas ( $H'=0-1,5$  bits) o aguas muy contaminadas a fuertemente contaminadas de calidad crítica a muy crítica (BMWP= Clase V y VI).

Al comparar las medias ( $n = 24$ ) de este estudio con las medias del nuestro, hallamos que el Q (7,3 m<sup>3</sup>/s), ST (193 mg/l), SST (159 mg/l) y el SDT (34 mg/l) es mucho mayor que el nuestro tanto en A como en B; que la TEMP (21,4 C°) y el pH (7,0) es ligeramente mayor tanto en A como en B que permite la preservación de fauna, flora y agua cruda para consumo humano; el OD (6,1 mg/l) es muy similar al de A pero el SATOD (69,8 %) y el CE (72,0  $\mu$ S/cm) lo es al de B; el DBO<sub>5</sub> (27,3 mg/l) es superior al de A y permite el uso de agua cruda para consumo humano pero inferior al de B y el DQO (50,6 mg/l) similar al de A pero muy inferior al de B. En el río Quinamayó aguas abajo de la desembocadura de la quebrada La Chapa y del río Mandivá la CRC encontró en agosto 23 de 1999 que el H' (1,36) es muy similar a la media en A (aguas muy contaminadas) pero superior a la de B (0,73), el BMWP (52= Clase IV o de calidad dudosa) y el S (9) es muy superior a la media de A y B debido a la mayor jerarquía de ambos ríos.

Es muy importante anotar que todas las aguas residuales de las rallanderías, de los alcantarillados de las poblaciones y casas de la región, de otras agroindustrias (café, fique, caña panelera, acuacultura, cría y ceba de cerdo) y de otras industrias son vertidas a la subcuenca de los ríos Ovejas-Mondomo (92.100 ha) y Quinamayó (29.000 ha).

En la quebrada Tiembra se realizó un estudio (Gallego y Garcés, 2006) en tres sitios (nacimiento, RALL 45 y desembocadura) en el que se determinaron: el pH (6,94; 6,62 y 6,65, respectivamente), presentando valores similares a las medias nuestras en A y B; el OD (3,6; 1,8 y 2,56 mg/l, respectivamente); la SATOD (48 %, 24 % y 34 %, respectivamente). Todos son valores muy críticos de contaminación que están muy por debajo de nuestras medias, tanto las de A, como las de B; en cambio la DBO<sub>5</sub> (0,64 mg/l, 23,83 mg/l y 4,39 mg/l, respectivamente) y el NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (0,011 mg/l, 0,011 mg/l y 0,011 mg/l, respectivamente) presentan valores muy bajos comparados con nuestras medias, debido quizás a que las muestras fueron tomadas en domingo, cuando las rallanderías están paradas; el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,32 mg/l, 0,69 mg/l y 0,31 mg/l, respectivamente) muestra

valores muy altos comparados con las medias de nuestras quebradas (quizás debido a la incidencia de las AR de los barrios del corregimiento de Mondomo).

También encontraron en este estudio de la quebrada Tiembra que sus aguas en el nacimiento están medianamente contaminadas ( $H' = 2,04$  bits) o de calidad aceptable (BMWP = 72, Clase III) y que en los otros dos sitios las aguas están muy contaminadas ( $H' = 0,67$  y  $0,55$ ) y de calidad muy crítica o aguas fuertemente contaminadas (BMWP = 15, Clase VI); estos valores son semejantes a los encontrados por nosotros en la quebrada Tiembra en los sitios 38, 46 y 51 que están relativamente muy cerca de donde ellos los tomaron ( $\leq 500$  m).

Tabla 19. Características fisicoquímicas y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas: La Chapa, La Cascada, Quimbas, Tiembra, Vergara y Río Mondomo en los lugares de muestreos A y B en donde vierten sus AR las 12 RALL (n=24).

FCHA	10-sep	08-jul	19-nov	19-nov	12-nov	19-nov	10-dic	24-sep	03-dic	01-oct	22-oct	03-dic	Media	10-sep	08-jul	19-nov	19-nov	12-nov	19-nov	10-dic	24-sep	03-dic	01-oct	22-oct	03-dic	Media
RALL	3	12	16	18	21	25	38	43	46	51	56	57	Media	3	12	16	18	21	25	38	43	46	51	56	57	Media
LUG	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
TEMP (°C)	18,5	18,1	22	20	21,3	22	21,6	20	20	20,4	19,3	19,8	20,25	19,1	18,4	23,0	20,1	21,0	22,0	21,5	20,0	20,0	20,4	19,4	19,9	20,4
pH	7,42	6,86	6,7	6,4	6,92	7,2	6,67	6,32	6	6,2	7,41	6	6,68	7,14	5,31	6,7	5,8	6,93	7,2	6,34	5,73	6	5,81	7,35	5,7	6,3
CE (µS/cm)	42,5	42,1	40	39	54	40	55	107	55	83	70,1	30	54,81	76	157	80	67	58	50	70	157	62	90	70	40	81,5
OD (mg/l)	8,23	8,6	4,86	7,13	7,07	6,57	5,6	5,3	5,28	2,82	8,09	6,62	6,35	7,3	5,4	4,0	4,0	6,3	5,0	5,6	2,3	3,6	2,5	7,2	4,5	4,8
SATOD (%)	103	103	70	90	90	92	80	78	68	35	99	90	83	98	64	60	57	80	70	80	35	47	35	89	57	64,3
ST (mg/l)	134	82	68	7	28	160	43	114	55	166	61	30	79	173	831	125	68	125	170	62	290	66	205	84	59	188
SDT (mg/l)	29	24	19	2	9	26	5	31	20	47	9	9	19	51	89	27	14	17	27	49	103	46	66	51	29	47
SST (mg/l)	105	58	49	5	19	134	38	83	35	119	52	21	60	122	742	98	54	108	143	13	187	20	139	33	30	141
DBO <sub>5</sub> (ma/l)	44	2	16	5	105	47	2	4	26	40	20	21	28	50	226	55	59	99	76	4	105	36	80	29	25	70
DQO (mg/l)	61	66	77	15	120	151	15	48	127	121	26	32	72	127	559	266	226	174	241	40	255	128	220	36	114	199
CN (mg/l)	0,051	0,002	0,023	0,020	0,012	0,026	0,003	0,020	0,048	0,090	0,023	0,005	0,027	0,077	0,710	0,095	0,125	0,053	0,040	0,003	0,110	0,082	0,137	0,041	0,005	0,12
NO <sub>3</sub> (mg/l)	1,70	0,90	1,25	0,65	0,15	0,95	0,60	1,20	0,65	1,80	0,20	0,55	0,88	2,30	10,40	1,40	1,40	0,40	1,10	0,70	2,10	1,20	2,30	0,80	1,30	2,12
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,113	0,047	0,151	0,185	0,098	0,300	0,078	0,144	0,192	0,103	0,059	0,066	0,128	0,113	0,416	0,151	0,188	0,101	0,300	0,084	0,289	0,192	0,155	0,059	0,089	0,18
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,072	0,009	0,061	0,070	0,110	0,025	0,035	0,360	0,215	0,174	0,036	0,042	0,101	0,820	0,033	0,069	0,111	0,128	0,025	0,058	0,705	0,233	0,753	0,055	0,049	0,25
NNO <sub>3</sub> (ma/l)	0,39	0,20	0,28	0,15	0,03	0,22	0,14	0,27	0,15	0,41	0,05	0,13	0,20	0,52	2,36	0,33	0,32	0,22	0,24	0,16	0,48	0,27	0,52	0,18	0,30	0,49
NNO <sub>2</sub> (ma/l)	0,03	0,01	0,05	0,06	0,03	0,09	0,02	0,04	0,06	0,03	0,02	0,02	0,04	0,05	0,13	0,09	0,06	0,03	0,09	0,03	0,09	0,06	0,05	0,02	0,03	0,06
NNH <sub>4</sub> (mg/l)	0,06	0,01	0,05	0,05	0,08	0,02	0,03	0,28	0,17	0,13	0,03	0,03	0,08	0,63	0,02	0,05	0,09	0,10	0,13	0,04	0,54	0,18	0,58	0,04	0,04	0,20
NTOT (mg/l)	0,48	0,23	0,38	0,26	0,15	0,33	0,19	0,59	0,37	0,57	0,09	0,18	0,32	1,20	2,51	0,47	0,46	0,35	0,46	0,23	1,11	0,52	1,15	0,24	0,36	0,75
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,032	0,055	1,037	0,082	0,685	1,516	0,037	0,033	0,200	0,330	3,930	0,019	0,663	0,048	0,052	1,057	0,092	0,844	1,532	0,049	0,042	0,238	0,369	3,940	0,028	0,69
VOLD (m <sup>3</sup> /día)	1033	198	33600	296	2467	49109	134	1065	719	10688	127323	68	18892	1552	186	34246	331	3038	49644	176	1372	856	11961	127665	101	19261
STD (kg/día)	138	16	2285	2	69	7857	6	121	40	1774	7767	2	1673	268	154	4281	22	380	8439	11	398	57	2452	10724	6	2266
SDTD (kg/día)	30	5	638	1	22	1277	1	33	14	502	1146	1	305,8	79	17	925	5	52	1340	9	141	39	789	6511	3	826
SSTD (kg/día)	109	12	1646	1	47	6581	5	88	25	1272	6621	1	1367	189	138	3356	18	328	7099	2	257	17	1663	4213	3	1440
DBO <sub>5</sub> D (kg/día)	45	0	538	1	259	2308	0	4	19	428	2546	1	513	78	42	1884	20	301	3773	1	144	31	957	3702	3	911
DQOD (kg/día)	63	13	2587	4	296	7415	2	51	91	1293	3310	2	1261	197	104	9109	75	529	11964	7	350	110	2631	4596	12	2474
CND (kg/día)	0,053	0,0004	0,773	0,006	0,030	1,277	0,0004	0,021	0,035	0,962	2,928	0,0003	0,507	0,119	0,132	3,253	0,041	0,161	1,961	0,0004	0,151	0,070	1,633	5,234	0,0005	1,063
NO <sub>3</sub> D (ka/día)	1,76	0,178	42,00	0,19	0,37	46,65	0,080	1,28	0,47	19,24	25,46	0,037	11,48	3,57	1,93	47,94	0,46	1,22	54,61	0,12	2,88	1,03	27,51	102,13	0,132	20,29
NO <sub>2</sub> D (ka/día)	0,12	0,009	5,07	0,05	0,24	14,73	0,010	0,15	0,14	1,10	7,51	0,004	2,43	0,18	0,08	5,17	0,06	0,31	14,89	0,015	0,40	0,16	1,85	7,53	0,009	2,55
NH <sub>4</sub> D (ka/día)	0,07	0,002	2,05	0,02	0,27	1,23	0,005	0,38	0,15	1,86	4,58	0,003	0,89	1,27	0,01	2,36	0,04	0,39	1,24	0,010	0,97	0,20	9,01	7,02	0,005	1,88
NNO <sub>3</sub> D (ka/día)	0,40	0,041	9,55	0,04	0,08	10,60	0,018	0,29	0,11	4,37	5,79	0,009	2,61	0,81	0,44	10,90	0,11	0,28	12,41	0,028	0,65	0,23	6,25	23,21	0,030	4,61
NNO <sub>2</sub> D (ka/día)	0,04	0,003	1,54	0,02	0,07	4,46	0,003	0,05	0,04	0,33	2,28	0,001	0,74	0,05	0,023	1,57	0,02	0,09	4,51	0,004	0,12	0,05	0,56	2,28	0,003	0,77
NNH <sub>4</sub> D (ka/día)	0,06	0,001	1,58	0,02	0,21	0,94	0,004	0,29	0,12	1,43	3,53	0,002	0,68	0,98	0,005	1,82	0,03	0,30	0,95	0,008	0,74	0,15	6,93	5,40	0,004	1,44
NTOTD (kg/día)	0,49	0,045	12,66	0,08	0,37	16,01	0,025	0,63	0,27	6,14	11,59	0,012	4,03	1,84	0,47	14,28	0,15	0,67	17,88	0,040	1,52	0,44	13,74	30,90	0,036	6,83
CC (kg/día)	160	16	2867	4	318	10591	6	108	68	1988	9422	3	2129	306	201	7648	56	705	13602	5	470	74	3178	8213	9	2872
N (No.ind / m <sup>2</sup> )	1067	69	611	10	123	114	24	568	719	214	44	7	298	1278	256	1624	292	237	288	12	529	789	304	102	457	514
S (No.género / m <sup>2</sup> )	9	14	8	7	3	4	4	8	4	3	7	6	6	2	14	3	4	3	4	4	2	2	3	2	5	4
H' (bits) / m <sup>2</sup> )	0,77	3,40	1,39	2,72	0,35	1,25	1,27	1,15	0,36	0,59	2,30	2,52	1,51	0,04	1,44	1,06	1,19	0,16	1,12	1,21	0,91	0,28	0,45	0,96	1,12	0,83
J	0,24	0,89	0,46	0,97	0,22	0,63	0,64	0,38	0,18	0,37	0,82	0,98	0,57	0,04	0,38	0,67	0,59	0,10	0,56	0,60	0,91	0,28	0,28	0,96	0,48	0,49
BMWP	36	91	43	34	5	15	20	40	15	8	45	44	33	3	83	12	20	8	15	22	11	4	6	5	29	18
ASPT (BMWP / S)	4,0	6,5	5,4	4,9	1,7	3,8	5,0	5,0	3,8	2,7	6,4	7,3	4,7	1,5	5,9	4,0	5,0	2,7	3,8	5,5	5,5	2,0	2,0	2,5	5,8	3,9

Tabla 20. Test de la *t de Student* de muestras dependientes para la comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas en los 24 sitios de muestreo A y B (n de A=12 y n de B=12).

	Mean	Std.Dv.	n	Diff.	Std.Dv.	t	df	p
Q* A	0,177	0,0059						
Q* B	0,207	0,0054	12	-0,030	0,0006	-3,550	11	0,0046
TEMP A	20,19	1,309						
TEMP B	20,40	1,288	12	-0,208	0,375	-1,923	11	0,0807
pH A	6,68	0,5049						
pH B	6,28	0,6789	12	0,398	0,460	2,990	11	0,0123
OD A	6,35	1,661						
OD B	4,94	1,776	12	1,403	0,979	4,965	11	0,0004
SATOD A	83,17	19,107						
SATOD B	64,33	20,029	12	18,833	15,201	4,292	11	0,0013
CE* A	51,41	0,0004						
CE* B	75,75	0,0005	12	-24,346	-0,0001	-3,492	11	0,0050
ST* A	59,37	0,0015						
ST* B	130,22	0,0012	12	-70,844	0,0002	-3,329	11	0,0067
SST* A	44,13	0,0015						
SST* B	96,19	0,0013	12	-52,068	0,0002	-2,942	11	0,0134
SDT* A	14,30	0,0015						
SDT* B	30,18	0,0011	12	-15,879	0,0003	-4,380	11	0,0011
DBO <sub>5</sub> * A	14,92	0,0027						
DBO <sub>5</sub> * B	52,37	0,0018	12	-37,449	0,0008	-2,979	11	0,0125
DQO* A	55,06	0,0013						
DQO* B	157,95	0,0012	12	-102,892	0,0001	-4,538	11	0,0008
CN* A	0,016	0,0032						
CN* B	0,063	0,0029	12	-0,047	0,0002	-3,065	11	0,0108
NO <sub>3</sub> *** A	0,77	0,3031						
NO <sub>3</sub> *** B	1,42	0,2477	12	-0,645	0,0554	-4,478	11	0,0009
NO <sub>2</sub> * A	0,11	0,0017						
NO <sub>2</sub> * B	0,17	0,0018	12	-0,057	-0,0001	-2,332	11	0,0398
NH <sub>4</sub> * A	0,06	0,0028						
NH <sub>4</sub> * B	0,14	0,0033	12	-0,075	-0,0005	-3,484	11	0,0051
NTOT* A	0,28	0,0018						
NTOT* B	0,58	0,0021	12	-0,302	-0,0003	-4,354	11	0,0011
N * A	12,42	0,0054						
N * B	308,79	0,0036	12	-196,371	0,0018	-2,480	11	0,0306
S *** A	5,25	0,0844						
S *** B	3,03	0,1273	12	2,220	-0,0429	3,0756	11	0,0106
H' ** A	1,35	0,1725						
H' ** B	0,73	0,1045	12	0,615	0,0681	4,1039	11	0,0017
J A	0,57	0,2974						
J B	0,49	0,2879	12	0,0750	0,0095	0,8877	11	0,3937
BMWP * A	25,30	0,0023						
BMWP * B	11,84	0,0025	12	13,468	-0,0002	2,8483	11	0,0158
ASPT A	4,78	1,6508						
ASPT B	3,89	1,6150	12	0,892	0,0358	2,2856	11	0,0431

**Nota:** \*  $\log_{10}(x+1)$  = CE, ST, SST, SDT, DBO<sub>5</sub>, DQO, BMWP y DSDAD; \*  $\log_{10}(x)$  = Q, CN, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> y NTOT; \*\* Raíz cuadrada (x) y \*\*\* arcotangente (x). El valor de medias y desviación estándar se presentan des transformados.

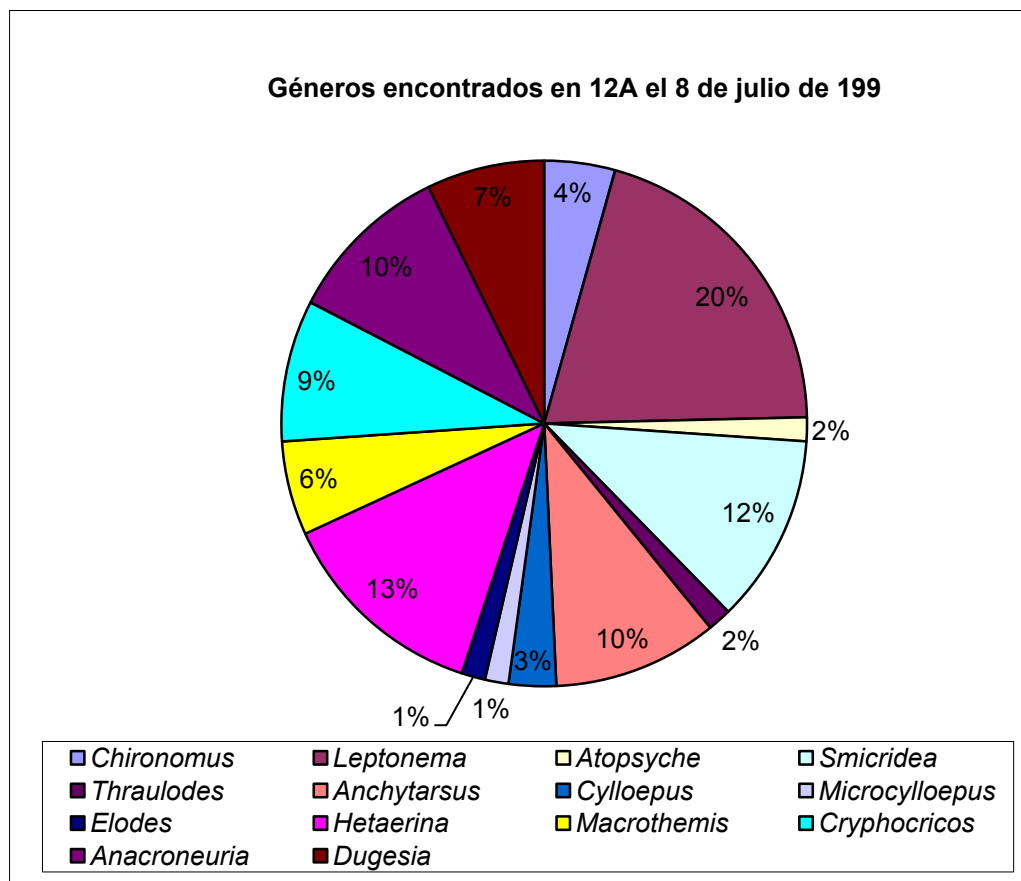


Figura 34. Distribución expresada como porcentaje de géneros encontrados por metro cuadrado en la quebrada La Cascada en el sitio de muestreo 12A.

Tabla 21. Géneros encontrados en la quebrada La Cascada (subcuenca del río Quinamayó) en el sitio de muestreo 12A y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N = número de individuos por m<sup>2</sup> (densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H' = índice de diversidad de Shannon (en log con base e y con base 2), J = Equitatividad, BMWP y ASPT.

La Cascada		ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB en 12A						
jul-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación	
<i>Chironomus</i>	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	-4,5236	-0,1967	Eutrófico	2
<i>Leptonema</i>	14	0,2029	-1,5950	-0,3236	-2,3012	-0,4669	Oligomesotrófico	8
<i>Atopsyche</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligomesotrófico	9
<i>Smicridea</i>	8	0,1159	-2,1547	-0,2498	-3,1085	-0,3604	Oligomesotrófico	0
<i>Thraulodes</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligotrófico	9
<i>Anchyrtarsus</i>	7	0,1014	-2,2882	-0,2321	-3,3012	-0,3349	Oligotrófico	10
<i>Cylloepus</i>	2	0,0290	-3,5410	-0,1026	-5,1085	-0,1481	Oligomesotrófico	7
<i>Microcylloepus</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligomesotrófico	0
<i>Elodes</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligomesotrófico	9
<i>Hetaerina</i>	9	0,1304	-2,0369	-0,2657	-2,9386	-0,3833	Oligomesotrófico	8
<i>Macrothemis</i>	4	0,0580	-2,8478	-0,1651	-4,1085	-0,2382	Mesotrófico	6
<i>Cryphocricos</i>	6	0,0870	-2,4423	-0,2124	-3,5236	-0,3064	Oligomesotrófico	7
<i>Anacroneuria</i>	7	0,1014	-2,2882	-0,2321	-3,3012	-0,3349	Oligotrófico	10
<i>Dugesia</i>	5	0,0725	-2,6247	-0,1902	-3,7866	-0,2744	Mesotrófico	6
N	69						BMWP =	91
S	14						ASPT =	6,5
H' = Diversidad de Shannon				2,36		3,40		
J = Equitatividad				0,89		0,89		

## 5.2.2 VALORACIÓN DEL EFECTO DE LOS VERTIDOS DE 4 RALLANDERÍAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DURANTE 5 MESES

Se presentan los resultados en la Tabla 24 (n = 40) con los parámetros fisicoquímicos: Temperatura (TEMP), pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Saturación de Oxígeno disuelto (SATOD), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Cianuro (CN), Nitrato ( $NO_3$ ), Nitrito ( $NO_2$ ), Amonio ( $NH_4$ ), Nitrógeno Total por día (NTOTD), Carga Contaminante (CC) y los índices bióticos: Densidad (N), Riqueza (S), Diversidad de Shannon ( $H'$ ), Equitatividad (J), *Biological Monitoring Working Party Score System* para Colombia (BMWP), y ASPT por RALL y LUG de muestreo A y B.

Al comparar con la Tabla 24 (n = 40) y respecto del Decreto 1594/84 sobre Normas de Calidad para la destinación del recurso en usos del agua en Colombia vemos que al igual que en la Tabla 21 en esta tabla todos los sitios A lo cumplen con respecto al pH (6.0-9.0) para preservación de fauna, flora y agua cruda para consumo humano pero en B solo hay un sitio que no lo cumple (51B, el 1 de octubre);  $DBO_5$  (<30 mg/l) para agua cruda para consumo humano hay nueve muestreos en A que son mayores a este valor que no cumplen con la norma y que coinciden con tres de los cuatro de la tabla anterior: 3A (10 sep.), 21A (10 sep., 1 oct. y 12 nov.), 51A (27 jul., 10 sep., 1 oct. y 12 nov.) y 38A (10 sep.), pero en B hay 6 sitios (tres en la anterior tabla) que están por debajo y cumplen con la norma: 3B (10 dic.), 21B (27 jul. y 10 dic.) y 38B (1 oct., 12 nov. y 10 dic.). Para nitratos y nitritos (10 y 1 mg/l respectivamente) si cumplen todos los muestreos para agua cruda para consumo humano y para uso pecuario (100 y 10 mg/l respectivamente). Con estos resultados podemos ver como al finalizar el verano y comenzar el invierno se presentan niveles bajos de caudal y valores críticos de contaminación aun en los sitios de control que están en la parte alta de las quebradas La Chapa (3A) y Tiembra (38A) y que se agudiza en la parte media y mucho más en la desembocadura, en cambio en B algunos sitios presentan mejoras en noviembre diciembre cuando los caudales han aumentado.

Los únicos sitios que cumplen con los criterios para la protección de la biocenosis de ecosistemas acuáticos continentales frente al cianuro libre ( $HCN$  y  $CN^-$ ) (Tabla 6, Eisler, 1991) son sitios de control 3A (27 jul., 12 nov. y 10 dic.) y 38A (27 jul. y 10 dic.). Los criterios para evitar daños mínimos para la mayoría de las especies de peces (3-5  $\mu g/l$ , Tabla 6) únicamente no son superados el 10 dic. en 38B, debido quizás al aumento de caudal que se produjo ese mes; El criterio de letalidad a exposición aguda (300-1000  $\mu g/l$ , Tabla 6) no es superado en ninguno de estos muestreos, cuando sí lo fue en julio en 12B (ver capítulo anterior). Vemos que el criterio de CN para el agua potable en Gran Bretaña (< 50  $\mu g/l$ , Tabla 6) es superado los sitios A en cuatro muestreos (Tabla 24): 3A (10 sep.) y 51A (27 jul., 10 sep., y 1 oct.); solo el 10 dic. en 38B no es superado en los sitios B.

Tabla 22. Características fisicoquímicas y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas: La Chapa y Tiembala en los lugares de muestreo A y B donde vierten sus AR las RALL 3, 21, 38 y 51 (n=40).

FCHA	27-7	10-9	1-10	12-11	10-12	27-7	10-9	1-10	12-11	10-12	27-7	10-9	1-10	12-11	10-12	27-7	10-9	1-10	12-11	10-12	27-7	10-9	1-10	12-11	10-12	27-7	10-9	1-10	12-11	10-12	27-7	10-9	1-10	12-11	10-12	Media						
RALL	3	3	3	3	3	21	21	21	21	21	38	38	38	38	38	51	51	51	51	51	Media	3	3	3	3	3	21	21	21	21	21	38	38	38	38	38	51	51	51	51	Media	
LUG	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B			
TEMP (C°)	19,4	18,5	20	20,7	22,4	20	18,8	21,6	21,3	21,1	20,5	19	20,9	22	21,6	21,8	19,6	20,4	22,3	20,5	20,6	20,3	19,1	20,7	20,7	20,7	20	19,8	22,9	21	21	19,2	20,1	22	21,5	22	19,4	20,4	22,3	20,5	20,7	
PH	6,74	7,42	7,72	7,43	7,4	6,73	7,46	7,47	6,92	7,12	6,54	7,19	6,51	6,84	6,67	6,5	6,43	6,2	7,07	7,14	7,0	6,59	7,14	7,54	7,36	6,53	6,22	7,46	6,47	6,93	7,12	6,54	6,28	6,42	6,84	6,34	6,5	6,39	5,81	6,72	6,5	6,69
CE (µS/cm)	46,4	42,5	41	28	39	119	130	118	54	67	62	65,6	47	38	55	132	125	83	46	55	69,6	170	76,4	97,2	55	48	120	129,6	125	58	68	65,5	78,4	48	38	70	132	138,9	90	46	56	85,4
OD (mg/l)	6,74	8,23	5,25	8,66	7,4	6,13	6,61	3,66	7,07	6,3	6	5,67	5,24	7,44	5,6	2,08	2,92	2,82	9,12	6	5,9	4,18	7,3	4,14	7,99	7,2	5,68	6,59	3,57	6,3	6,3	4,6	3,72	5,06	6,71	5,6	0,78	1,72	2,48	5,69	6	5,08
SATOD (%)	89	103	68	107	102	79	90	47	90	80	79	77	68	102	80	25	35	35	112	79	77,4	58	98	58	107	100	79	90	49	80	57	47	68	92	80	12	24	35	81	80	69	
ST (mg/l)	38	134	57	6	31	134	248	150	28	60	84	142	124	22	43	163	194	166	140	58	101	214	173	217	45	47	152	350	210	125	60	98	154	137	58,1	62	252	213	205	145	65	149
SDT (mg/l)	4	29	25	1	4	48	89	64	9	13	40	45	34	7	5	71	85	47	27	19	33	122	51	71	13	34	86	86	86	17	47	46	53	35	14	49	92	96	66	51	40	58
SST (mg/l)	34	105	32	5	27	86	159	86	19	47	44	97	90	15	38	92	109	119	113	39	68	92	122	146	32	13	66	264	114,2	108	13	52	101	102	44	13	160	117	139	94	25	91
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	7	44	4	21	2	10	65	40	105	5	6	49	13	22	2	55	99	40	40	30	33	50	50	80	132	3	27	70	42	99	5	65	65	15	24	4	104	115	80	91	32	58
DOO (mg/l)	22	61	18	91	32	22	129	130	120	30	26	149	26	27	15	125	105	121	49	37	67	148	127	178	177	61	66	138	174	174	32	89	181	90	61	40	133	154	220	98	38	119
CN (mg/l)	0	0,05	0,01	0	0	0,01	0,04	0,04	0,01	0,01	0	0,013	0,014	0,007	0	0,09	0,09	0,09	0,036	0,04	0,028	0,06	0,08	0,03	0,03	0,01	0,01	0,045	0,077	0,053	0,012	0,03	0,044	0,019	0,007	0	0,09	0,11	0,137	0,037	0,043	0,046
NO <sub>3</sub> (mg/l)	1,4	1,7	1,00	0,65	0,9	1,3	1,7	2,1	0,15	0,2	1,9	2,4	1,1	0,2	0,6	0,1	1,4	1,8	0,3	1,2	1,1	1,9	2,3	1,7	0,5	1,2	1,7	1,9	2,4	0,4	0,4	2,1	3,4	1,5	0,4	0,7	0,2	2,1	2,3	0,5	1,5	1,46
NO <sub>2</sub> (mg/l)		0,11	0,17	0,04	0,04		0,09	0,06	0,1	0,16		0,091	0,17	0,1	0,08		0,07	0,1	0,115	0,13	0,102		0,11	0,22	0,1	0,09		0,122	0,094	0,101	0,189		0,091	0,249	0,1	0,08		0,074	0,255	0,115	0,133	0,13
NH <sub>4</sub> (mg/l)		0,07	0,01	0,07	0,06		0,11	0,04	0,11	0,01		0,087	0,091	0,05	0,04		0,2	0,17	0,028	0,25	0,087		0,82	0,17	0,91	0,22		0,168	0,067	0,128	0,039		0,132	0,134	0,05	0,06		1,97	0,753	0,043	0,245	0,37
NNO <sub>3</sub> (mg/l)		0,39	0,23	0,15	0,20		0,39	0,48	0,03	0,05		0,55	0,25	0,05	0,14	0,02	0,32	0,41	0,07	0,27	0,234		0,52	0,39	0,11	0,27		0,43	0,55	0,09	0,09		0,77	0,34	0,09	0,16		0,48	0,52	0,11	0,34	0,33
NNO <sub>2</sub> (mg/l)		0,034	0,051	0,013	0,013		0,028	0,017	0,030	0,047		0,028	0,052	0,030	0,024		0,022	0,031	0,035	0,040	0,234		0,034	0,066	0,032	0,028		0,037	0,028	0,031	0,057		0,028	0,075	0,030	0,025		0,022	0,047	0,035	0,040	0,04
NNH <sub>4</sub> (mg/l)		0,055	0,008	0,055	0,043		0,085	0,029	0,085	0,008		0,067	0,070	0,038	0,027		0,152	0,134	0,022	0,188	0,067		0,631	0,129	0,696	0,167		0,129	0,052	0,098	0,030		0,102	0,103	0,038	0,045		1,515	0,579	0,033	0,188	0,28
NTOT (mg/l)		0,48	0,29	0,22	0,26		0,50	0,52	0,15	0,10		0,64	0,37	0,11	0,19	0,02	0,49	0,57	0,12	0,50	0,326		1,19	0,58	0,84	0,47		0,60	0,63	0,22	0,18		0,90	0,52	0,16	0,23		2,02	1,15	0,18	0,57	0,65
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,030	0,032	0,060	0,118	0,175	0,157	0,290	0,250	0,685	0,619	0,011	0,028	0,031	0,090	0,037	0,155	0,239	0,330	0,474	0,365	0,209	0,032	0,048	0,076	0,162	0,185	0,174	0,382	0,354	0,844	0,643	0,017	0,033	0,060	0,121	0,049	0,159	0,263	0,369	0,612	0,371	0,248
VDL (m <sup>3</sup> /día)	966	1033	1936	3826	5666	564	1045	899	2467	2228	40	100	111	323	134	5035	7730	10688	15347	11829	3598	222	268	537	237	281	95	513	268	380	139	6	19	30	25	11	1300	1813	2452	2875	781	613
STD (kg/día)	37	138	110	23	176	76	259	135	69	134	3	14	14	7	6	821	1500	1774	2149	686	406	222	268	537	237	281	95	513	268	380	139	6	19	30	25	11	1300	1813	2452	2875	781	613
SDTD (kg/día)	4	30	48	4	23	27	93	58	22	29	2	4	4	2	1	358	657	502	414	225	125	126	79	176	68	204	54	126	110	52	109	3	6	8	6	9	475	817	789	1011	481	235
SSTD (kg/día)	33	109	62	19	153	48	166	77	47	105	2	10	10	5	5	463	843	1272	1734	461	281	95	189	361	168	78	41	387	145	328	30	3	12	22	19	2	826	996	1663	1864	300	376
DBO <sub>5</sub> D (kg/día)	7	45	8	80	11	6	68	36	259	11	0	5	1	7	0	277	765	428	691	355	153	52	78	198	695	18	17	96	54	301	12	4	8	3	10	1	537	979	957	1804	384	310
DOOD (kg/día)	21	63	35	348	181	12	135	117	296	67	1	15	3	9	2	629	812	1293	752	438	261	153	197	440	932	365	41	190	222	529	74	5	22	19	27	7	686	1311	2631	1943	457	513
CND (kg/día)	0,001	0,053	0,014	0,013	0,000	0,003	0,044	0,038	0,030	0,027	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000	0,458	0,719	0,962	0,552	0,414	0,167	0,064	0,119	0,074	0,145	0,060	0,004	0,062	0,098	0,161	0,028	0,002	0,005	0,004	0,003	0,000	0,475	0,932	1,633	0,73	0,517	0,256
NO <sub>3</sub> D (kg/día)		1,8	1,9	2,5	5,1		1,8	1,9	0,4	0,4		0,2	0,1	0,1	0,5	10,8	19,2	4,6	14,2	3,861		3,6	4,2	2,6	7,2		2,6	3,1	1,2	0,9		0,4	0,3	0,2	0,1		17,9	27,5	9,9	18,0	6,23	
NO <sub>2</sub> D (kg/día)		0,117	0,323	0,168	0,249		0,097	0,051	0,242	0,345		0,009	0,019	0,032	0,010		0,549	1,101	1,765	1,550	0,414		0,175	0,542	0,550	0,545		0,168	0,120	0,307	0,436		0,011	0,054	0,044	0,015		0,630	1,854	2,28	1,592	0,58
NH <sub>4</sub> D (kg/día)		0,074	0,019	0,272	0,317		0,116	0,034	0,271	0,022		0,009	0,010	0,016	0,005		1,531	1,860	0,430	2,898	0,493		1,272	0,415	4,763	1,300		0,231	0,085	0,389	0,090		0,016	0,029	0,022	0,010		16,77	9,007	0,85	2,944	2,39
NNO <sub>3</sub> D (kg/día)		0,40	0,44	0,57	1,16		0,40	0,43	0,08	0,10		0,05	0,03	0,01	0,02	0,11	2,46	4,37	1,05	3,23	0,877		0,81	0,96	0,60	1,63		0,59	0,70	0,28	0,21		0,09	0,07	0,04	0,03		4,06	6,25	2,25	4,10	1,42
NNO <sub>2</sub> D (kg/día)		0,035	0,098	0,051	0,076		0,029	0,016	0,073	0,105		0,003	0,006	0,010	0,003	0,000	0,166	0,334	0,535	0,470	0,118		0,053	0,164	0,167	0,165		0,051	0,036	0,093	0,132		0,003	0,016	0,013	0,004		0,191	0,562	0,69	0,482	0,18
NNH <sub>4</sub> D (kg/día)		0,057	0,015	0,209	0,244		0,089	0,026	0,209	0,017		0,007	0,008	0,012	0,004																											

En el estudio realizado en Camboya (Dany and Eliyan, 2010) para la utilización de agua cruda para consumo humano, igual que en Colombia el pH y la DBO<sub>5</sub> deben estar en el mismo rango, pero para la conservación de la biodiversidad en los ríos el primero debe estar entre 6,5-8,5 mg/l; no lo cumplen en A, 51 (27 jul. y 10 sep.) y en B, 21 (27 jul. y 1 oct.) 38 (10 sep., 1 oct. y 10 dic.) y 51 (10 sep. y 1 oct.) siendo el valor más bajo (5,81) encontrado en este último muestreo cuando los caudales son mínimos; el segundo entre 1 - 10 mg/l que solo se cumple en 6 de los 20 muestreos en A en 3 (27 jul., 10 oct. y 10 dic.), 21 (10 dic.) y 38 (27 jul. y 10 dic.) en cambio en B solo se cumple en 3 de los muestreos del 10 de dic. (3, 21 y 38). Para la utilización del agua cruda en este estudio también la DQO debe ser menor de 50 mg/l que solo lo cumplen en A, 3 (27 jul., 1 oct. y 10 dic.), 21 (27 jul. y 10 dic.) y 38 (27 jul., 1 oct., 12 nov. y 10 dic.), y en B, 21, 38 y 51 solo el 10 dic. y los SST menor de 60 mg/l que lo cumplen en los sitios A, 3(27 jul., 1 oct., 12 nov. y 10 dic.), 21 (12 nov. y 10 dic.), 38 (27 jul., 12 nov. y 10 dic.) y en 51 (10 dic.) y en B en 3,21 y 38 (12 nov. y 10 dic.) y en 51 (10 dic.). Vemos que la normativa se cumple al comienzo del verano en los sitios de control y que solo en la desembocadura mejoran cuando llegan las lluvias y aumentan los caudales de las quebradas.

En el estudio realizado en la India (Subramanian and Sivaramakrishnan, 2007) en el río Sharavathy, encontraron valores similares a los nuestros en el sitio Nellibedu: S=12, BMWP=92 y ASPT=8; en el sitio de control de la quebrada La Chapa 3A (27 jul.) y cerca de su desembocadura 21A (10 dic.). En el otro estudio hecho en este país (Kasthuri *et al.*, 2007) nos muestran valores de nitratos entre 0,95 y 14,28 mg/l que son mayores que los nuestros que están entre 0,1 mg/l (51A, 27 jul.) y 3,4 mg/l (38B, 10 sep.). Para nitritos entre 0,09 mg/l y 0,30 mg/l, nosotros entre 0,04 mg/l (3A, 12 nov. y 10 dic.) y 0,249 mg/l (38B, 1 oct.). La OMS aconseja que los valores sean menores de 0,1 mg/l, que en nuestro caso solo cumplen en A, 3 (nov. y dic.), 21(10 sep., 1 oct. y 12 nov.), 38 (10 sep. 12 nov. y 10 dic.) y 51 (10 sep.) y en B 3 (10 dic.), 21 (1 oct.), 38 (10 sep. 12 nov. y 10 dic.) y 51 (10 sep.).

En España en el estudio realizado en la cuenca del río Ebro (Lassaletta, *et al.*, 2009) nos dicen que las concentraciones deben estar en 0,44 mg/l de NO<sub>3</sub> para río no contaminado, solo lo cumplen en A, 21 (12 nov. y 10 dic.), 38 (12 nov.) y 51 (27 jul. y 12 nov.); en B lo cumplen 21 (12 nov. y 10 dic.); 38 (12 nov.) cuando los caudales son máximos y 51 (27 jul.) cuando el caudal es mínimo. También nos dicen que 8,8 mg/l es el umbral propuesto para la protección de las especies de agua dulce más sensibles y que la concentración máxima permisible establecida por la Directiva (1991/696/EC) sobre nitratos es de 50 mg/l que en nuestro caso ningún sitio de muestreo llega a estos valores.

En el sureste de Brasil en el Estado de Minas Gerais en *Serra do Cipó* (Galdean, *et al.* 2000) encontraron valores más altos que los nuestros para SATOD (53-136 % frente a 25-112 % encontrados en 51A el 27 jul. y 12 nov., respectivamente; y de 12-107 % encontrados en 51B el 27 jul. y 3B el 12 nov.), NH<sub>4</sub> (0,031-0,588 mg/l; durante el periodo de lluvias, contra valores mínimos de 0,08 mg/l encontrados en 3A el 1 oct. y en 21A el 10 dic. y 0,030 mg/l encontrado en 21B el 10 dic.; contra valores máximos de 0,188 mg/l, encontrados en 51A el 10 dic. y de 1,52 mg/l en 51B el 10 sep.), en NNO<sub>3</sub> (0,237-0,972 mg/l; durante el periodo seco, contra valores mínimos de 0,02 mg/l encontrados en 51A el 27 jul. y 0,09 mg/l en 21B el 12 nov. y 10 dic. y en 38B el 12 nov.;

contra valores máximos de 0,55 mg/l en 38A el 10 sep. y de 0,77 mg/l en 38B el 10 sep.) y valores muy bajos durante el periodo seco de pH de 3,83 y altos en el periodo de lluvias de 8,81; contra valores mínimos de 6,20 en 51A el 1 oct. y de 5,81 en 51B el 1 oct.; valores máximos de 7,72 en 3A el 1 oct. y de 7,54 en 3B el 1 oct., cuando han caído las primeras lluvias. También encontraron valores muy altos de S (65-6) contra valores máximos de 13 en 3A, el 27 jul., de 6 en 38B el 10 sep. y 1 oct.; valores mínimos de 1 en 51A 12 nov., en 3B el 27 jul.; de H' (3,66-1,17) contra valores máximos de 2,62 en 38A el 10 sep. , de 2,10 en 38B el 1 oct.; valores mínimos de 0,00 en 51A el 12 nov. y en 3A el 27 jul.

En el sur de Nigeria (Arimoro, *et al.*, 2008), encontraron en el sitio impactado por las AR (estación II) valores muy bajos de OD (1,50-6,30 mg/l) que se recuperan un poco 7 km aguas abajo en la estación III (4,6-5,6mg/l) y que son inferiores a los nuestros con valores mínimos de 2,08 mg/l en 51A el 27 jul. y 0,78 mg/l en 51B el 27 jul. y valores máximos de 8,66 mg/l en 3A mg/l el 12 nov. y de 7,99 mg/l en 3B el 12 nov.; también el pH es muy ácido en la estación II (3,62-5,93) y estación III (1,78-5,02) contra valores mínimos de 6,50 en 51A el 27 jul. y de 5,81 en 51B el 1 oct.; valores máximos de 7,47 en 21A el 1 oct. y de 7,54 en 3B el 1 oct. , igualmente el  $\text{NNO}_3$  de la estación II (0,87-2,89 mg/l) y de la estación III (0,60-2,63 mg/l) son mayores que los nuestros donde encontramos los valores mínimos de 0,02 en 51A el 27 jul. , de 0,09 mg/l en 21B el 12 nov. y 10 dic. , en 38B el 12 nov.; contra valores máximos de 0,55 mg/l en 38A el 10 sep. y de 0,77 mg/l en 38B el 10 sep. Caso contrario sucede con la  $\text{DBO}_5$  que son similares a los valores mínimos de la estación I y III (3,19 - 2,73 mg/l respectivamente) contra 2 mg/l de 3A y 38A del 10 dic., pero los valores máximos de las estaciones I y III de Nigeria (11,80 - 3,90 mg/l) son mucho menores que los valores máximos nuestros que son de 105 mg/l en 21A y de 132 mg/l en 3B, ambos del 12 nov. Los valores mínimos de los SDT también son similares en la estación II y III (4,63 - 2,95 mg/l) comparados con los nuestros de 1 y 4 mg/l en 3A el 12 de nov., 10 dic. y 27 jul., pero en 3B son un poco mayores (13 mg/l el 12 nov.); los valores máximos en la estación II y III (57,70 - 15,40 mg/l respectivamente) son mayores comparados con los nuestros que son de 89 mg/l en 21A el 10 sep. y de 122 mg/l en 3B el 27 jul.

También encontraron en este estudio 6116 MIB (n=6) en las 3 estaciones, el mayor número de individuos y los que dominan son Annelida de Clase Oligochaeta y Arthropoda del orden Díptera (2306), Hemíptera (586), Ephemeroptera (289), Odonata (102) y el más bajo Plecóptera (26). En el nuestro encontramos 24029 MIB (n=5) pero predomina Diptera (22882) que representa el 95,23% del total de los Arthropoda (ver Tabla 1 hasta Tabla 5 de MIB en Anexo) y también al igual que en Nigeria el Género dominante es *Chironomus* (62,80%). Referente a la estructura de la comunidad de MIB en África encontraron valores de H' entre 3,27 y 2,71 nosotros de julio a diciembre valores de H' entre 3,09 y 0,73 bits ver (ver Tabla 25 y Figura 35).

La Tabla 26 presenta el test de la *t de Student* de muestras dependientes para la comparación de medias por LUG de muestreo A y B solo la TEMP no tiene diferencia significativa los demás parámetros si tienen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Para la normalización de los datos se transformaron por su  $\log_{10}(x+1)$ :  $\text{Q}^*$ ,  $\text{CE}^*$ ,  $\text{NO}_2^*$ ,  $\text{NH}_4^*$ ,  $\text{NTOT}^*$ ,  $\text{BMWP}^*$ ,  $\text{N}^*$ ,  $\text{S}^*$  y  $\text{ASPT}^*$  por su raíz cuadrada  $\text{SST}^{**}$ ,  $\text{DBO}_5^{**}$ ,  $\text{CN}^{**}$  y  $\text{H}'^{**}$ .

Para SDT y DQO se hizo test no paramétrico de *Wilcoxon Matched Pairs* presentando diferencia significativa en los dos.

Al comparar la Tabla 22 (n=12) con la Tabla 26 (n=20) vemos que las medias de Q en A y B es menor en esta última debido a que en la primera tabla la mayoría de los muestreos (18) fueron realizados en la época de lluvia y a que el río Mondomo lleva mucho más caudal que las quebradas, igual sucede con el OD y el SATOD en A; caso contrario pasa con ST y el SDT en A y B, el DBO<sub>5</sub>, SST y el NO<sub>3</sub> en A que es mayor en la Tabla 26, en los demás parámetros incluyendo los índices bióticos son muy similares.

En el estudio realizado en la quebrada San Antonio (Ramírez y Velasco, 2001), encontramos que las medias (Tabla 26) de Q, OD, CE, SDT, NH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> son un poco mayores que los nuestros tanto en A como en B; el ST son también mayores pero solo en A permiten la preservación de fauna, flora y agua cruda para consumo humano; en cambio el SST, NO<sub>3</sub> y el DQO son menores que los nuestros tanto en A como en B igual sucede con las medias de la Tabla 22; el ST, NO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub> son menores en B. La TEMP, pH y NO<sub>3</sub> como el CN en A es similar al valor encontrado por nosotros en las dos tablas lo cual nos muestra que a pesar de tener mayor caudal en promedio que los nuestros y ser receptor de menor número de AR los valores de CN en promedio de las quebradas afectan a la mayoría de las especies de peces y larvas de moluscos bivalvos que al igual que en nuestras quebradas después del vertimiento los niveles de CN aumentan llegando en algunos casos a niveles peligrosos por ser letal a exposición aguda.

Tabla 23. Descriptores de la estructura de MIB con los valores acumulados de los 5 muestreos (julio a diciembre) en las quebradas La Chapa y Tiembra, en los sitios de muestreo A y B.

	SITIOS	3A	3B	21A	21B	38A	38B	51A	51B	TOTAL
No. de ejemplares		1199	2638	3373	4079	199	2883	5800	3858	24029
Riqueza acumulada		27	5	16	6	15	15	8	5	-
Diversidad acumulada (bits)		1,33	1,33	1,43	1,19	3,09	0,73	1,05	0,76	-

En el estudio realizado en la zona (CRC. 2004) vemos que en la desembocadura de los ríos Quinamayó, Mandivá y la quebrada La Chapa se presentan los valores más críticos en contaminación en: OD, SATOD y CE en los meses de septiembre y octubre de 1998, DBO<sub>5</sub> y DQO en los meses de abril y septiembre de 1998 y febrero de 1999, y ST en abril y diciembre de 1998 (ver tabla en Anexo).

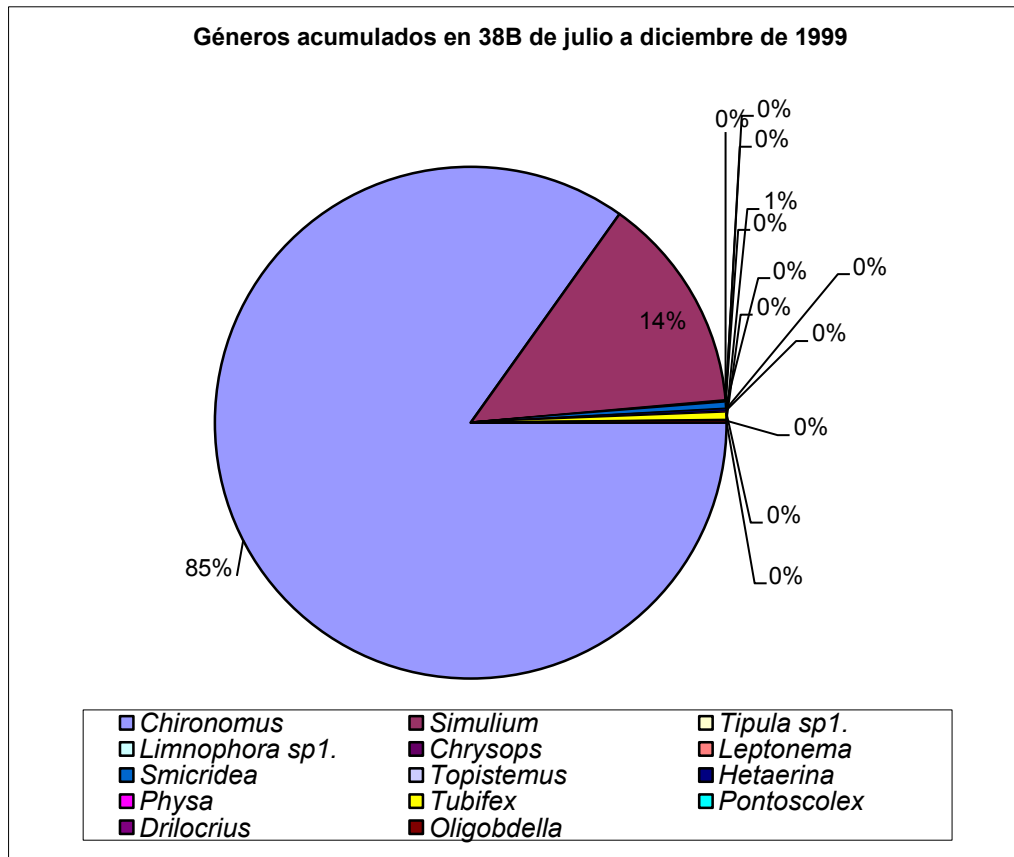


Figura 35. Distribución expresada como porcentaje de géneros acumulados de julio a diciembre por 5 metro cuadrado en la quebrada Tiembla en el sitio de muestreo 38A y 38B.

Tabla 24. Test de la *t de Student* de muestras dependientes para la comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos y de los índices bióticos de los macroinvertebrados en las quebradas en los 40 sitios de muestreo A y B (n de A=20 y n de B=20) y test no paramétrico de *Wilcoxon Matched Pairs*.

	Mean	Std.Dv.	n	Diff.	Std.Dv.	T	df	p
Q*A	0,121	0,0023						
Q*B	0,150	0,0020	20	-0,03	0,0002	-6,041	19	0,0000
TEMP (C°) A	20,61	1,15						
TEMP (C°) B	20,73	1,03	20	-0,12	0,6534	-0,821	19	0,4217
pH A	6,98	0,43						
pH B	6,64	0,44	20	0,33	0,3061	4,828	19	0,0001
OD (mg/l) A	5,95	1,92						
OD (mg/l) B	5,08	1,92	20	0,87	0,9252	4,188	19	0,0005
SATOD (%) A	77,35	24,98						
SATOD (%) B	68,75	25,80	20	8,60	11,357	3,386	19	0,0031
CE* (μS/cm) A	62,41	0,0006						
CE* (μS/cm) B	78,36	0,0006	20	-15,95	0,0004	-2,894	19	0,0093
ST(mg/l) A	101,10	66,97						
ST(mg/l) B	148,95	81,86	20	-47,85	51,21	-4,179	19	0,0005
SST**(mg/l) A	60,34	7,85						
SST**(mg/l) B	93,15	7,52	20	-32,81	4,36	-4,036	19	0,0007
DBO <sub>5</sub> ** (mg/l) A	26,19	7,38						
DBO <sub>5</sub> ** (mg/l) B	51,74	10,32	20	-25,56	5,30	-4,034	19	0,0007
CN**(mg/l) A	0,0197	0,0088						
CN**(mg/l) B	0,0410	0,0067	20	-0,02	0,0032	-4,919	19	0,0001
NO <sub>3</sub> (mg/l) A	1,105	0,705						
NO <sub>3</sub> (mg/l) B	1,494	0,845	20	-0,39	0,259	-6,711	19	0,0000
NO <sub>2</sub> * (mg/l) A	0,094	0,0005						
NO <sub>2</sub> * (mg/l) B	0,142	0,0007	16	-0,05	0,0005	-4,198	15	0,0008
NH <sub>4</sub> * (mg/l) A	0,062	0,0015						
NH <sub>4</sub> * (mg/l) B	0,180	0,0023	16	-0,12	0,0016	-4,450	15	0,0005
NTOT* (mg/l) A	0,291	0,0009						
NTOT* (mg/l) B	0,529	0,0011	16	-0,24	0,0005	-6,090	15	0,0000
N*A	122,58	0,0059						
N*B	348,02	0,0030	20	-225,45	0,0040	-3,2762	19	0,0040
S*A	4,984	0,0008						
S*B	3,220	0,0006	20	1,76	0,0010	2,7995	19	0,0114
H' **A	1,168	0,178						
H' **B	0,484	0,126	20	0,68	0,232	3,5448	19	0,0022
J A	0,555	0,295						
J B	0,353	0,290	20	0,20	0,295	3,0614	19	0,0064
BMWP*A	22	0,0015						
BMWP*B	9,5	0,0012	20	12,54	0,0020	3,4459	19	0,0027
ASPT*A	3,65	0,2127						
ASPT*B	3,47	0,1894	20	0,18	0,0007	3,4810	19	0,0025

Nota: \* log<sub>10</sub> (x+1); \*\* raíz cuadrada (x); los valores de la media y desviación estándar se muestran destransformados.

<i>Wilcoxon Matched Pairs Test AB-4 RALL.</i>						
	Mean	Std.Dv.	n	T	Z	p-level
SDT A	33,30	10,61				
SDT B	48,65	51,62	20	2,0000	3,64	0,00028
DQO A	66,75	10,61				
DQO B	119,5	77,78	20	0,0000	3,92	0,00009

En la Tabla 24 también encontramos valores críticos de contaminación tanto en A como en B muy similares a los encontrados en este estudio, en la parte alta en los muestreos de septiembre y octubre de las quebradas La Chapa (3A) y Tiembra (38A); en la parte baja cerca de la desembocadura en los muestreos de julio, septiembre y octubre de la quebrada La Chapa (21A) y Tiembra (51A); en los muestreos hechos después de los vertimientos en la parte alta de las quebradas La Chapa (3B) y Tiembra (38B) en los meses de julio, septiembre y octubre; en los muestreos de la parte baja cerca de desembocadura de las quebradas La Chapa (21B) y Tiembra (51B) en los meses de julio, septiembre, octubre y noviembre. Tanto en A como en B en el mes de diciembre se presenta en casi todos los parámetros una recuperación notable en las dos quebradas con la excepción del CN en los sitios de muestreo 21 y 51 en A y en todos los sitios de muestreo en B. En los índices bióticos también se observa valores críticos y muy críticos de contaminación ( $H'$ = aguas muy contaminadas y BMWP= aguas fuertemente contaminadas) en la quebrada La Chapa (3A en septiembre, octubre y noviembre; 21A en julio, septiembre, octubre y noviembre); en Tiembra en la parte baja cerca de su desembocadura en 51A y B en todos los meses de muestreo igual sucede para los demás sitios de muestreo en B (3, 21 y 38).

Encontramos en el lugar 3A en el mes de julio que sus aguas son medianamente contaminadas ( $H'$ =2,43) de Clase III o aguas medianamente contaminadas de calidad aceptable (BMWP=89) y donde se encontraron el mayor número de géneros /  $m^2$  ( $S$ =13) y también es mayor el porcentaje de taxones sensibles a la contaminación de tipo orgánico (ASPT= 6,8); en 38A en los meses de julio, septiembre, octubre y noviembre sus aguas también son medianamente contaminadas ( $H'$ =2,39; 2,62; 2,50 y 2,16 respectivamente) y en 21A en diciembre también sus aguas son medianamente contaminadas ( $H'$ =1,5-3,0 bits) o aguas contaminadas de calidad dudosa a crítica (BMWP= Clase IV y V), ver Figura 36. En los demás sitios tanto en A como en B las aguas son muy contaminadas ( $H'$ =0-1,5 bits) o aguas muy contaminadas a fuertemente contaminadas (BMWP= Clase V y VI).

Al comparar las medias ( $n$ =24) de este estudio con las medias del nuestro ( $n$ =20), hallamos que el Q (7,3  $m^3/s$ ), ST (193 mg/l), SST (159 mg/l) es mucho mayor que el nuestro tanto en A como en B (igual sucede con la Tabla 22 ( $n$ =12)); que la TEMP, pH, SATOD y CE es muy similar al de A y B; el OD (6,1 mg/l) es similar en A (5,95) pero mayor en B (5,08) que permite la preservación de fauna, flora y agua cruda para consumo humano; DBO<sub>5</sub> (27,3 mg/l) es similar al de A (26,2) y permite el uso de agua cruda para consumo humano pero inferior al de B (51,7) y el DQO (50,6 mg/l) similar al de A (67) pero muy inferior al de B (119).

En el río Quinamayó aguas abajo de la desembocadura de la quebrada La Chapa y del río Mandivá la CRC encontró en agosto 23 de 1999 que el  $H'$  (1,36) es similar a la media nuestra en A (1,17) que nos indican aguas muy contaminadas pero superior a la de B (0,48), el BMWP (52= Clase IV o de calidad dudosa) y el S (9) es muy superior a la media de A (26 y 5 respectivamente) que las clasifica como de Clase V de calidad crítica o aguas muy contaminadas y B (12 y 3 respectivamente) como de Clase VI o de calidad muy crítica o fuertemente contaminadas.

En la quebrada Tiembra se realizó un estudio (Gallego y Garcés, 2006), en tres sitios de esta quebrada (nacimiento, RALL 45 y desembocadura) se determinó: pH (valores similares a las

medias nuestras en A y B); OD y SATOD (son valores muy críticos de contaminación que están muy por debajo de nuestras medias en A y B pero similares a los encontrados en 51 cerca de la desembocadura de Tiembla en A y B en julio, septiembre y octubre); en cambio la DBO<sub>5</sub> y el NO<sub>2</sub> son valores muy bajos comparados con las medias de A y B y NH<sub>4</sub> son valores muy altos comparados con las medias de A y B. Existe coincidencia entre los valores de los parámetros de este estudio con los nuestros reflejados en las Tablas 22, 24 y 26.

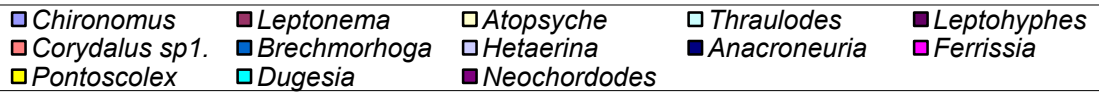
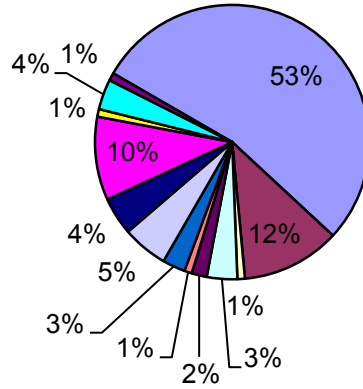
Al analizar los índices bióticos en este estudio de la quebrada Tiembla observamos que sus aguas en el nacimiento están medianamente contaminadas o de calidad aceptable y que en los otros dos sitios las aguas están muy contaminadas y de calidad muy crítica o aguas fuertemente contaminadas; estos valores son semejantes a los por nosotros encontrados en la quebrada Tiembla en los sitios 38 y 51 que están relativamente muy cerca de donde ellos los tomaron.

Al analizar la Gráfica 37 vemos que en la figura de Componentes Principales entre factores con una sola observación, vemos que casi todos los sitios en B son afectados de mayor a menor grado por: NTOT, SDT, DQO, CN, NO<sub>3</sub>, ST, SST, CE, NO<sub>2</sub> y que por incidencia de estos afectan el OD y el SATOD pero con la excepción de 51 y 43 en A que presentan igual contaminación que casi todos los B debido a su cercanía con la desembocadura de Tiembla. Caso contrario sucede con 56B que presenta menor contaminación que los otros sitios B debido al gran caudal y a la mayor pendiente longitudinal que lleva el río Mondomo en esta zona a pesar de que unos pocos km. antes, recibe las aguas de las quebradas Tiembla y Vergara; igual sucede con 38 y 57 en B debido a que son sitios que están en la parte alta cerca del nacimiento de las quebradas Tiembla y Vergara, además los muestreos se hicieron en diciembre cuando estas tienen mayor caudal. También observamos que los 5 sitios de control en A (3, 12, 18, 38 y 57) son los que presentan menor contaminación y que los sitios 43B (recibe unos metros antes las aguas de la quebrada Mestizal que contiene las AR del barrio EL Llanito y de cinco RALL) y 51B (recibe antes AR de varios barrios de Mondomo y de catorce RALL) y que está cerca de la desembocadura de Tiembla son los que presentan mayor contaminación (ver en Anexo: estudio de las quebradas La Chapa y Tiembla).

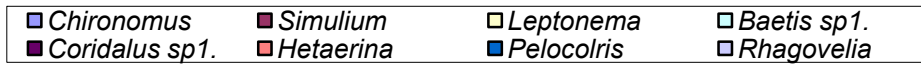
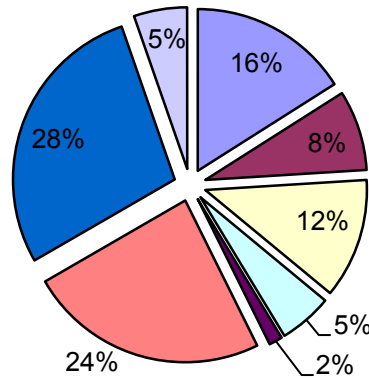
En la figura de Componentes Principales (37 y 38) entre factores con cinco observaciones, vemos que casi todos los sitios en B son afectados de mayor a menor grado por: CN<sup>-</sup>, ST, CE, SST y NTOT y que por incidencia de estos igual que en la anterior figura afectan el OD y el SATOD pero con la excepción de 51A (julio, septiembre y octubre), 21A (septiembre y octubre) y 38A en septiembre que presentan igual contaminación que casi todos los B debido a los bajos caudales que se presentan en estos meses que agudizan los problemas de la contaminación.

Caso contrario sucede en los sitios en 3B (noviembre y diciembre), 38B (noviembre y diciembre), 21B (diciembre) y 51B (noviembre) que presenta menor contaminación que los otros sitios B debido al aumento de caudal en estos meses. Igual que en la figura anterior los sitios de control 3A (noviembre y diciembre) y 38A (noviembre y diciembre) son los que presentan menor contaminación debido al aumento de los caudales en estos meses, por el contrario sucede que cerca de la desembocadura de Tiembla en 51B (julio, septiembre y octubre), es cuando se presenta la mayor contaminación debido a los menores caudales que se registran en estos meses

**Géneros encontrados en 3A en julio de 1999**



**Géneros encontrados en 38A en septiembre de 1999**



**Géneros encontrados en 21A en diciembre de 1999**

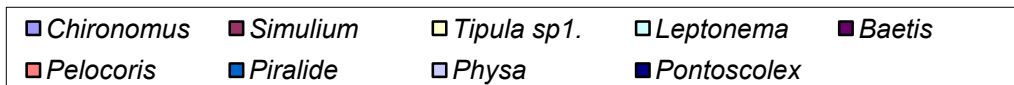
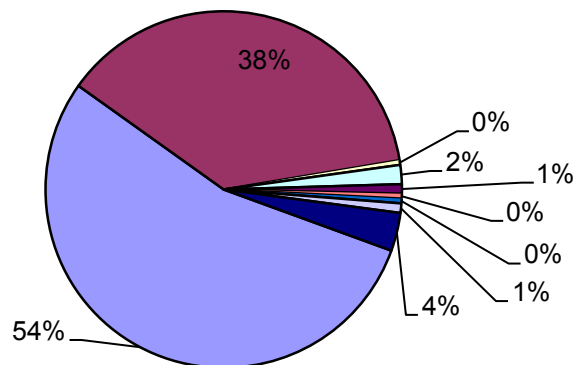


Figura 36. Distribución expresada como porcentaje de géneros encontrados por metro cuadrado en la quebrada La Chapa (3A en julio y 21A en diciembre) y Tiembra (38 en septiembre).

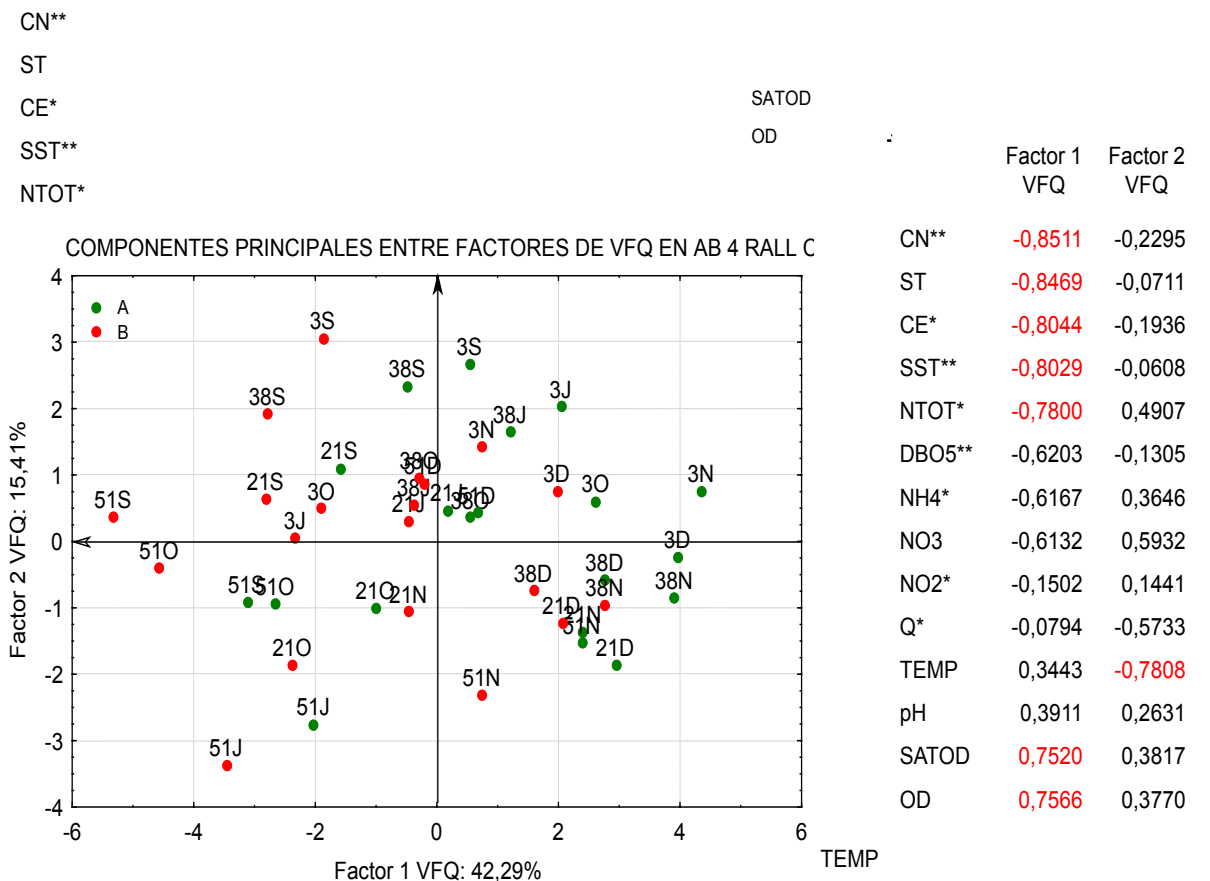
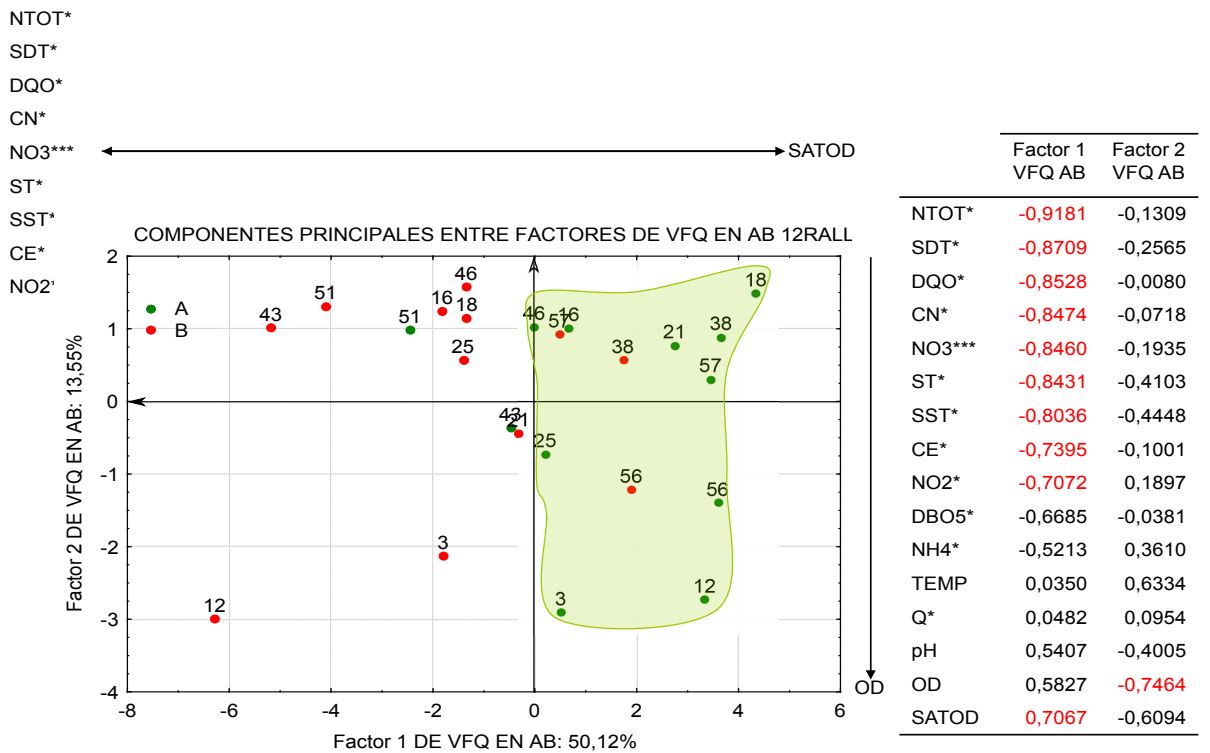


Figura 37. Componentes Principales de las concentraciones de 12 RALL (1 observación) y 4 RALL (5 observaciones).

### 5.2.3 ORDENACIÓN ESPACIAL DE LOS SITIOS DE MUESTREO SEGÚN LA FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA

En la parte alta de todas las microcuencas de las dos subcuencas todas las RALL, industrias agropecuarias (cría y ceba de cerdos, pollos, ganado vacuno y peces), agroindustrias (café, fique y caña panelera) y las casas de la región toman el agua de ellas generando en los meses de junio, julio, agosto y parte de septiembre (periodo seco de poca precipitación) un grave problema de abastecimiento y de contaminación por los bajos caudales que se registran en la parte baja de todas las microcuencas, que luego se recuperan en el periodo lluvioso que va desde octubre hasta mayo. De noviembre a enero son los meses que presentan niveles menos elevados de contaminación debido al aumento en los caudales y que la gran mayoría de las RALL paran sus procesos de producción para hacer reparaciones y reformas en los equipos e instalaciones (Figura 38).

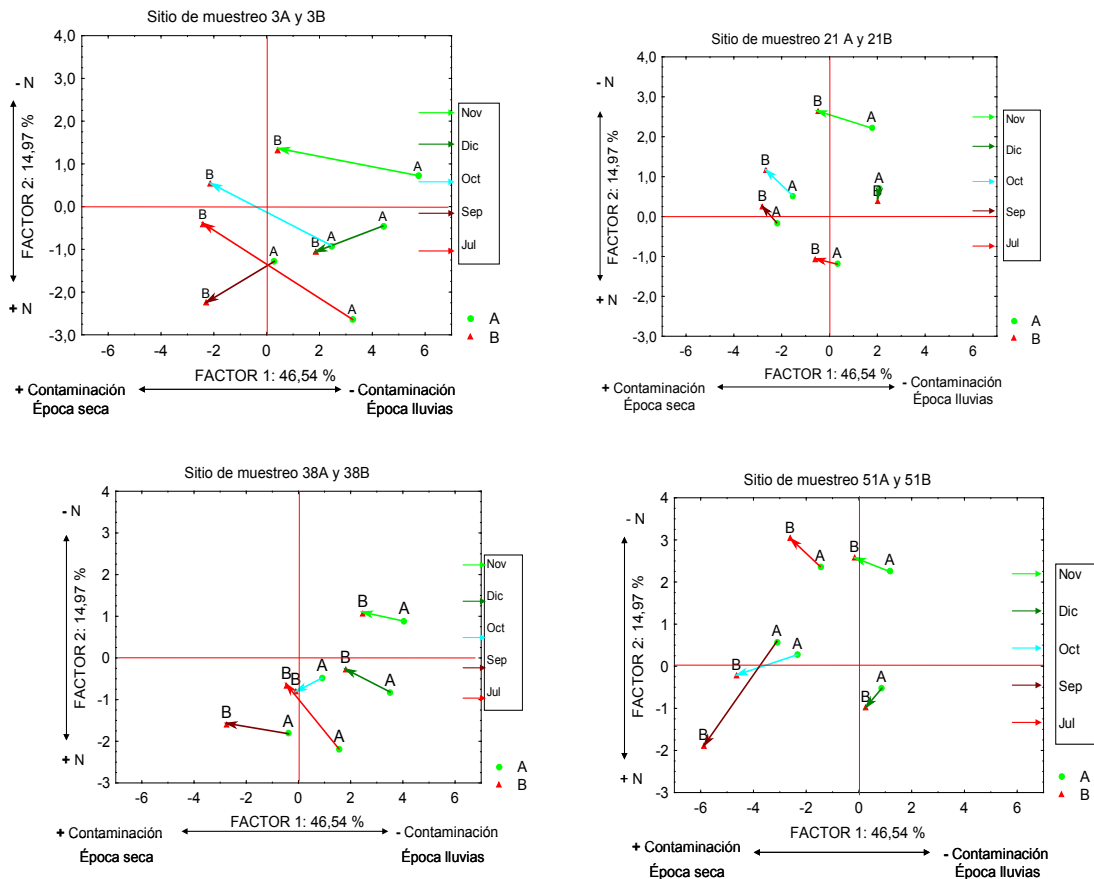


Figura 38. Componentes Principales en los sitios de muestreo A y B de las quebradas La Chapa y Tiembra

En la época seca cuando muchas RALL se ven forzadas por falta de agua y materia prima a trabajar a media marcha; se dedican hacer adecuaciones, reparaciones y exclusivamente a secar al sol todo el almidón almacenado durante el periodo de altas precipitaciones y en algunas ocasiones se verán obligados en esta época lluviosa a parar la producción por la turbiedad de sus aguas o porque la capacidad de los tanques de almacenamiento de almidón es alcanzada (debido

a las pocas h de sol que hay en este tiempo para secar el almidón ) o porque por la intensidad de las lluvias la materia prima no puede llevarse a las RALL

#### 5.2.4 COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE LOS SITIOS DE MUESTREO SEGÚN LA FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA

El test de *Duncan* realiza comparaciones múltiples de medias de los lugares de muestreo de las subcuencas Quinamayó (3A, 3B, 21A y 21B) y Mondomo (38A, 38B, 51A y 51B) ordenando las medias de menor a mayor y compara las diferencias entre pares, conectando los grupos que no difieren significativamente; halla subconjuntos de medias no significativamente diferentes (A, B, C, D, E, F, G y H). Si dos medias se agrupan en un mismo subconjunto no son diferentes significativamente, en caso contrario serán diferentes significativamente.

En la Tabla 27 de los parámetros fisicoquímicos encontramos que los valores de las medias de: TEMP, SATOD, ST, SST, SDT, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y NTOT no son diferentes significativamente entre cada uno de los lugares de muestreo. Caso contrario sucede en los flujos: SSTD, SDTD, NNO<sub>2</sub>D y DBO<sub>5</sub>D (Figura 39); donde existe dos subconjuntos de medias: 51B, 21B, 21A, 51A y 3B, 38B, 3A, 38A; que son significativamente diferentes donde el primer subconjunto reúne los sitios de mayores valores ordenándolos de mayor (51B) a menor (51A) que representan la parte baja cerca de la desembocadura de las quebradas Tiembra y La Chapa y el segundo el de menores también ordenándolos de mayor (3B) a menor (38A) que representan la parte alta de las quebradas y los sitios de menor contaminación (3A y 38A). En los flujos: STD, DQOD, NNO<sub>3</sub>D, CND, NTOTD y CC; (Figura 40) donde existe dos subconjuntos de medias: 51B, 21B, 51A, 21A, 3B y 38B, 3A, 38A; que son significativamente diferentes y parecidos a los anteriores flujos mencionados, con la particularidad de que 3B está al final o al principio de los subconjuntos (es el valor intermedio entre los valores altos de la parte baja de las subcuencas y los menores de la parte alta), que los valores de 38A, 38B y 3A (parte alta de las dos subcuencas) son menores y que los valores de 51B, 21B, 51A y 21A (parte baja de las dos subcuencas) son mayores.

En las concentraciones de CN<sup>-</sup> solo 38A y 3A nos presentan los menores valores y 51B, 51A y 3B los mayores valores (21B, 38B y 21A son valores intermedios); en la concentración de DBO<sub>5</sub> hay dos subconjuntos de medias: 51B, 3B, 51A, 21B, 21A y 38B, 38A, 3A que son significativamente diferentes donde el primer subconjunto reúne los sitios de mayores valores y el segundo el de menores y en la concentración de DQO dos subconjuntos de medias: 3B, 51B, 21B y 21A, 38B, 51A, 3A, 38A que son significativamente diferentes. El valor de 3B en estas tres concentraciones es alto debido a que metros más arriba de este lugar de muestreo, cerca del puente sobre la carretera Panamericana una antigua RALL reconvertida en cría y ceba de cerdos, arroja directamente sus AR a la quebrada, aumentando el caudal y la contaminación en este lugar de muestreo.

Tabla 25. Test de Duncan para los parámetros fisicoquímicos en los lugares de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la subcuenca del río Quinamayó y 38A, 38B, 51A y 51B de la subcuenca del río Mondomo.

	RALL	3 A	3 B	21 A	21 B	38 A	38 B	51 A	51 B	p-Valor
TEMP	20,20 A	20,30 A	20,56 A	20,94 A	20,80 A	20,76 A	20,92 A	20,92 A	0,9420	
pH	7,342 A	7,032 AB	7,08 AB	6,822 BC	6,744 BC	6,436 C	6,668 BC	6,354 C	0,0024	
OD	7,256 A	6,162 AB	5,954 AB	5,688 AB	5,99 AB	5,138 AB	3,988 BC	3,334 C	0,0111	
SATOD	93,8 A	84,2 AB	77,2 ABC	75,6 ABC	81,2 AB	68,8 ABC	57,2 BC	46,4 C	0,0641	
CE*	3,662 C	4,383 AB	4,523 AB	4,566 A	3,962 BC	4,06 ABC	4,393 AB	4,436 AB	0,0087	
ST*	1,547 B	2,046 A	1,989 AB	2,185 A	1,829 AB	1,974 AB	2,125 A	2,195 A	0,0616	
SST*	1,230 B	1,850 AB	1,634 AB	1,896 A	1,484 AB	1,697 AB	1,778 AB	1,933 A	0,2113	
SDT	24,6 B	58,2 AB	63,4 AB	64,4 AB	33,6 AB	39,4 AB	58,0 AB	69,0 A	0,1245	
DBO <sub>5</sub>	17,0 B	63,0 AB	39,6 AB	48,6 AB	18,4 B	34,6 B	53,8 AB	84,4 A	0,0305	
DQO	44,8 BC	138,2 A	96,80 ABC	106,0 AB	29,8 C	92,2 ABC	90,6 ABC	128,4 A	0,0255	
CN*	-2,373 C	-1,547 A	-1,714 AB	-1,640 AB	-2,212 BC	-1,694 AB	-1,204 A	-1,129 A	0,0006	
NO <sub>3</sub> *	0,278 A	0,386 A	0,309 A	0,330 A	0,325 A	0,377 A	0,265 A	0,333 A	0,9591	
NO <sub>2</sub> *	-0,993 A	-0,889 A	-1,025 A	-0,911 A	-0,950 A	-0,868 A	-0,989 A	-0,775 A	0,7834	
NH <sub>4</sub> *	-1,433 B	-0,480 AB	-1,414 BC	-1,100 BC	-1,215 C	-1,070 BC	-0,907 ABC	-0,431 A	0,0082	
NTOT	0,293 B	0,649 AB	0,314 AB	0,401 AB	0,352 AB	0,469 AB	0,351 AB	0,868 A	0,2419	
VD*	3,338 B	3,409 B	4,049 A	4,061 A	3,001 B	3,086 B	4,011 A	4,019 A	< 0,0001	
STD*	1,884 C	2,455 B	3,037 A	3,246 A	1,830 C	2,060 C	3,137 A	3,213 A	< 0,0001	
SSTD*	1,569 D	2,259 BC	2,683 AB	2,957 A	1,484 D	1,783 DC	2,790 AB	2,952 A	< 0,0001	
SDTD*	1,555 C	2,074 B	2,768 A	2,834 A	1,522 C	1,744 BC	2,777 A	2,884 A	< 0,0001	
DBO <sub>5</sub> D*	1,305 DC	1,988 BC	2,450 AB	2,580 AB	1,046 D	1,443 DC	2,705 AB	2,908 A	< 0,0001	
DQOD*	1,907 C	2,520 AB	2,905 A	3,018 A	1,430 C	1,996 BC	2,917 A	3,061 A	< 0,0001	
CND*	-2,100 D	-1,132 BC	-0,649 AB	-0,534 AB	-2,152 D	-1,493 DC	-0,144 A	-0,060 A	< 0,0001	
NO <sub>3</sub> D*	0,559 BCD	0,538 ABC	0,998 A	1,020 A	-0,030 D	0,168 DC	0,803 AB	0,991 A	0,0003	
NO <sub>2</sub> D*	-0,549 C	-0,375 BC	0,150 A	0,277 A	-0,839 C	-0,696 C	0,100 AB	0,320 A	< 0,0001	
NH <sub>4</sub> D*	-0,989 C	0,035 B	-0,239 B	0,088 AB	-1,101 C	-0,901 C	0,203 AB	0,644 A	< 0,0001	
NNO <sub>3</sub> D*	-0,284 BCD	-0,105 ABC	0,354 A	0,376 A	-0,673 D	-0,476 DC	0,160 AB	0,347 A	0,0003	
NNO <sub>2</sub> D*	-1,068 C	-0,893 BC	-0,369 A	-0,242 A	-1,357 C	-1,214 C	-0,418 AB	-0,199 A	< 0,0001	
NNH <sub>4</sub> D*	-1,099 C	-0,076 B	-0,349 B	-0,023 AB	-1,212 C	-1,011 C	0,093 AB	0,533 A	< 0,0001	
NTOTD*	-0,29 BC	0,171 AB	0,487 A	0,575 A	-0,51 C	-0,34 BC	0,339 A	0,646 A	0,0006	
CC*	2,018 DC	2,607 BC	3,056 AB	3,225 A	1,783 D	2,176 DC	3,155 AB	3,318 A	< 0,0001	

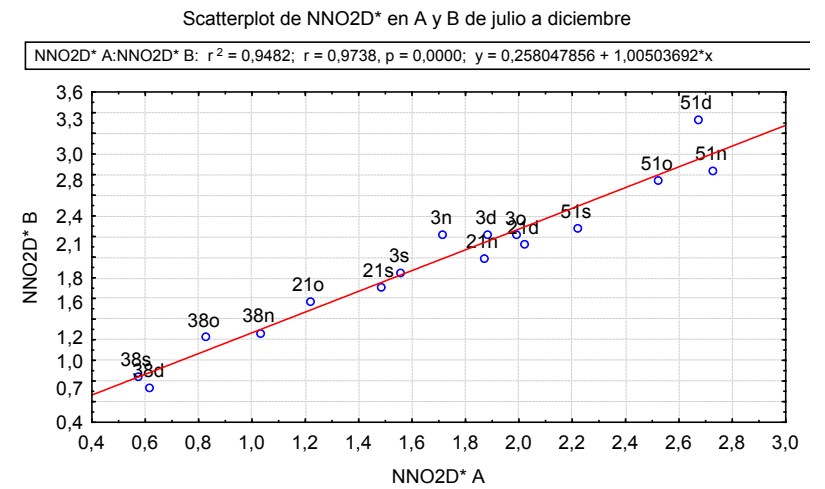
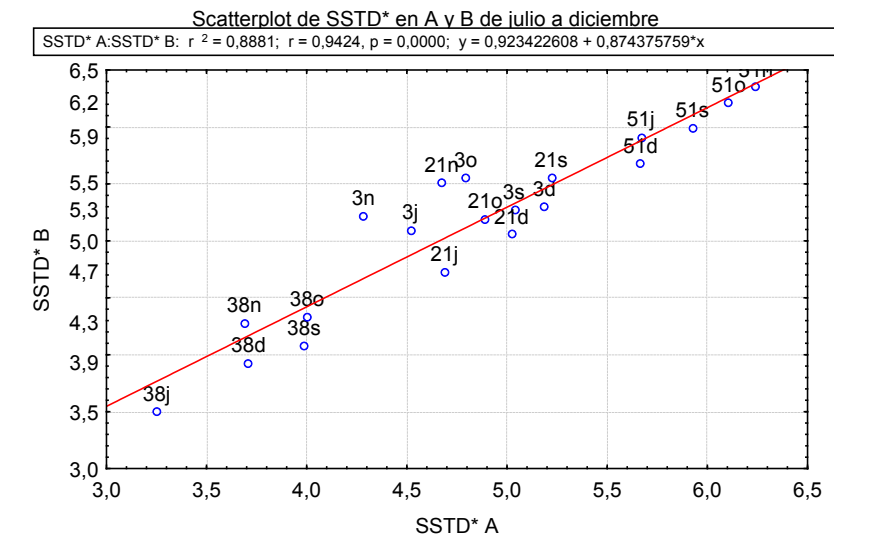
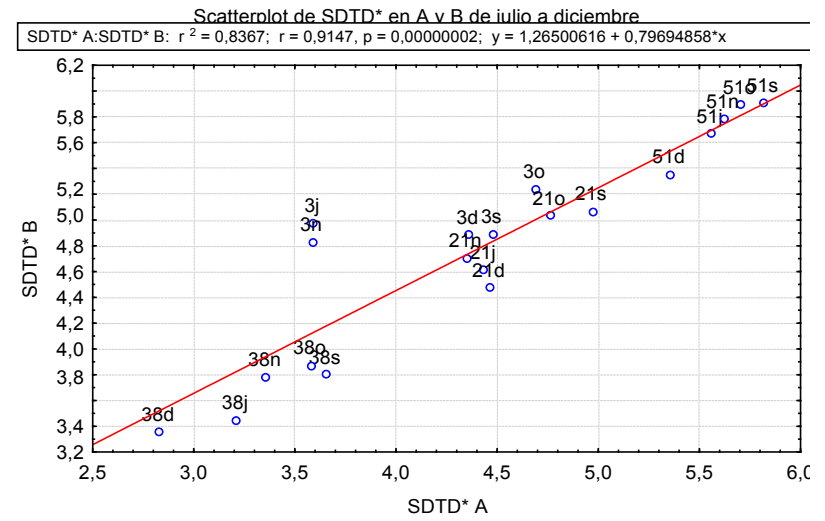
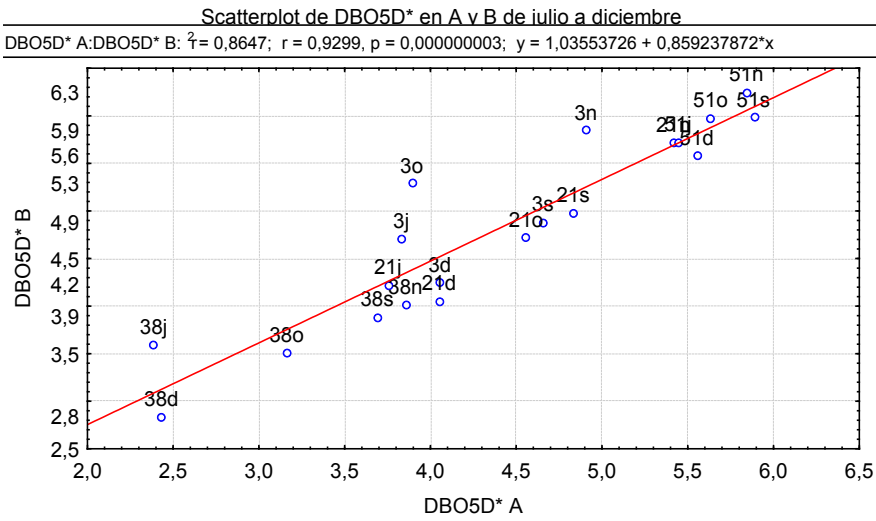


Figura 39. Scatterplot de los Flujos de SSTD\*, SDTD\*, DBO5D\* y NNO2D\* en A y B, de julio a diciembre.

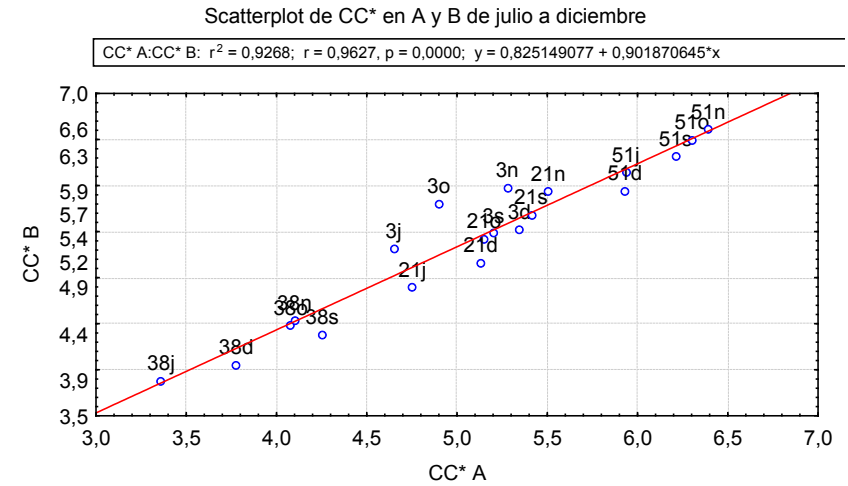
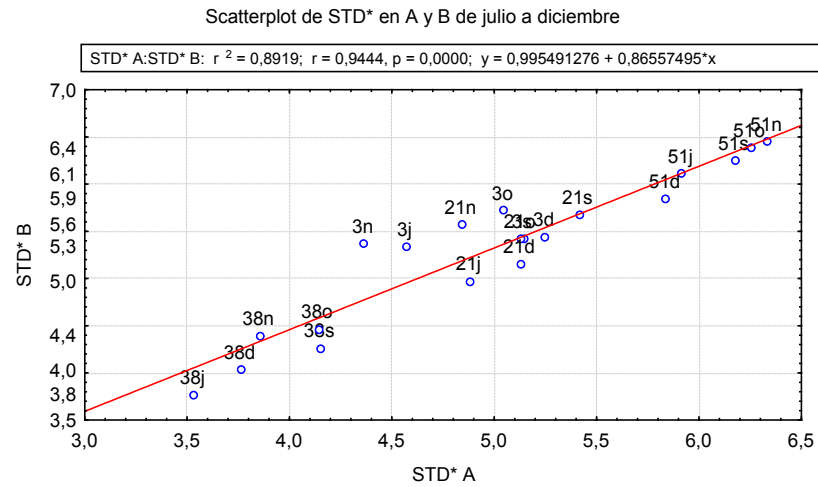
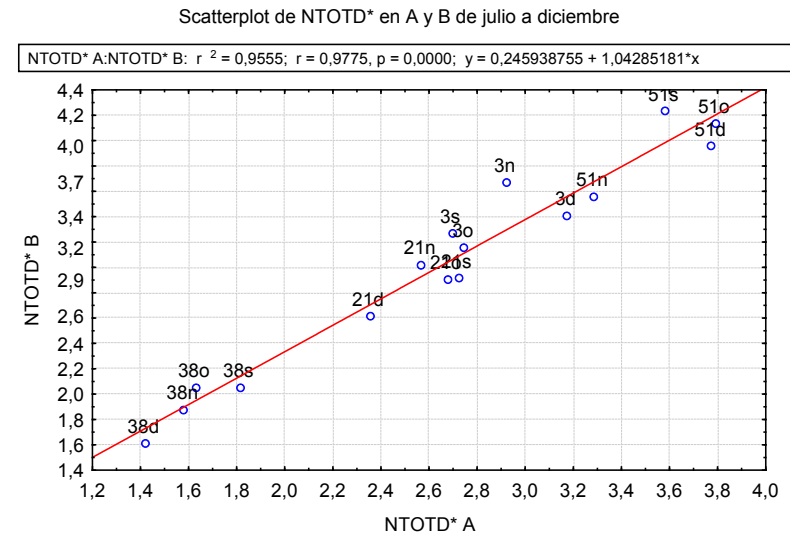
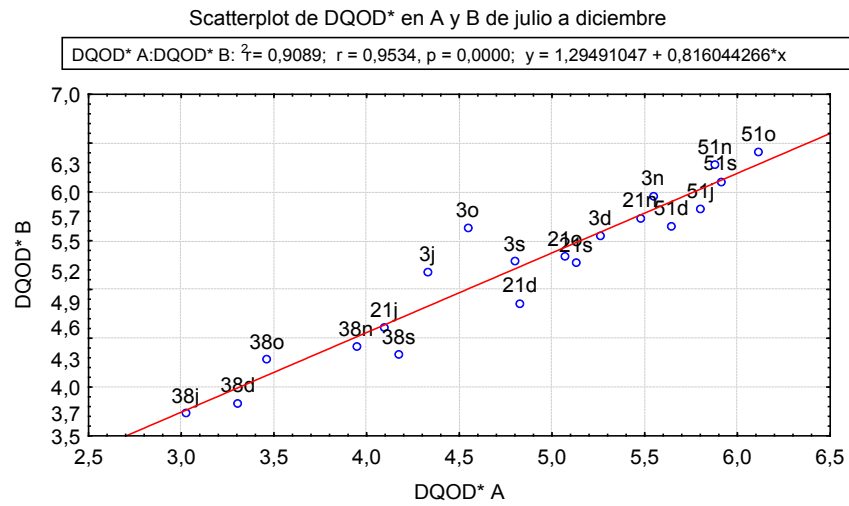


Figura 40. Scatterplot de STD\*, DQOD\*, NTOTD\* y CC de julio a diciembre.

## 5.2.5 COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE LOS SITIOS DE MUESTREO BASADA EN LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS

El test de *Duncan* realiza comparaciones múltiples de medias de las subcuencas Quinamayó (3A, 3B, 21A y 21B) y Mondomo (38A, 38B, 51A y 51B) ordenando las medias de menor a mayor y compara las diferencias entre pares, conectando los grupos que no difieren significativamente; halla subconjuntos de medias no significativamente diferentes (A, B y C). Si dos medias se agrupan en un mismo subconjunto no son diferentes significativamente, en caso contrario serán diferentes significativamente.

En la Tabla 28 el índice de diversidad de Shannon (H') y la Equitatividad (J) presentan 3 subconjuntos de datos que podemos agrupar en dos subconjuntos de medias (38A, 3A) y (21A, 38B, 3B, 21B, 51A, 51B) que son significativamente diferentes para H', donde el primer subconjunto reúne los sitios de mayores valores, de menor contaminación y que representan la parte alta de las quebradas Tiembla y La Chapa y el segundo el de menores valores también ordenándolos de mayor (21A) a menor (51B) que representan la parte baja de estas quebradas (con la excepción de 3B y 38B) y los sitios de mayor contaminación. Para J (38A, 3A) y (3B, 21A, 38B, 21B, 51A, 51B), los valores del primer subconjunto nos representan también el lugar de muestreo menos contaminado en la parte alta de las dos subcuencas (Figura 41). También se presentan en ASPT y BMWP dos subconjuntos de medias que son significativamente diferentes: (38A, 3A) y (38B, 21A, 21B, 3B, 51A, 51B) para ASPT y (38A, 3A, 21A, 38B) y (21B, 3B, 51A, 51B) para BMWP; en estos cuatro parámetros bióticos al igual que en los fisicoquímicos 3B representa sitio de mayor contaminación en la parte alta de la quebrada La Chapa. La N presenta 3 subconjuntos de datos que podemos agrupar en dos subconjuntos de medias que son significativamente diferentes: (21B, 51B, 51A, 21A, 3B, 38B) y (38A, 3A). Solo en S en los diferentes lugares de muestreo no existen diferencias significativas.

Tabla 26. Test de *Duncan* para los parámetros de los macroinvertebrados en los lugares de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la subcuenca del río Quinamayó y 38A, 38B, 51A y 51B de la subcuenca del río Mondomo.

RALL	3 A	3 B	21 A	21 B	38 A	38 B	51 A	51 B	p-Valor
N*	1,331 C	2,533 A	2,620 A	2,772 A	1,559 BC	2,207 AB	2,692 A	2,700 A	0,0016
S*	0,619 AB	0,451 B	0,772 AB	0,572 AB	0,793 A	0,673 AB	0,492 AB	0,467 AB	0,1311
H'	1,036 AB	0,564 BC	0,786 BC	0,462 BC	1,518 A	0,606 BC	0,372 C	0,354 C	0,0018
J	0,700 AB	0,466 BC	0,422 BC	0,332 C	0,824 A	0,372 BC	0,262 C	0,300 C	0,0148
BMWP*	1,302 AB	0,905 B	1,271 AB	1,037 B	1,589 A	1,194 AB	0,903 B	0,792 B	0,0239
ASPT	5,460 A	3,080 B	3,340 B	3,100 B	6,280 A	3,500 B	2,760 B	2,300 B	0,0003

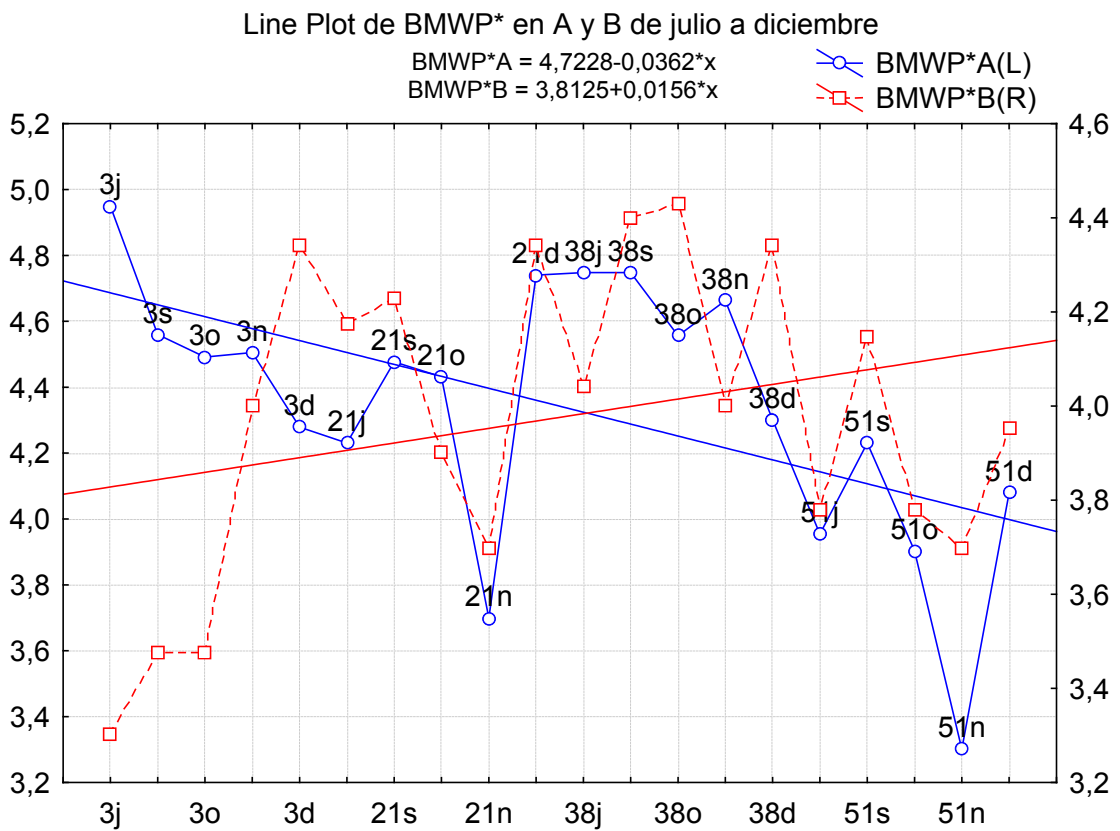
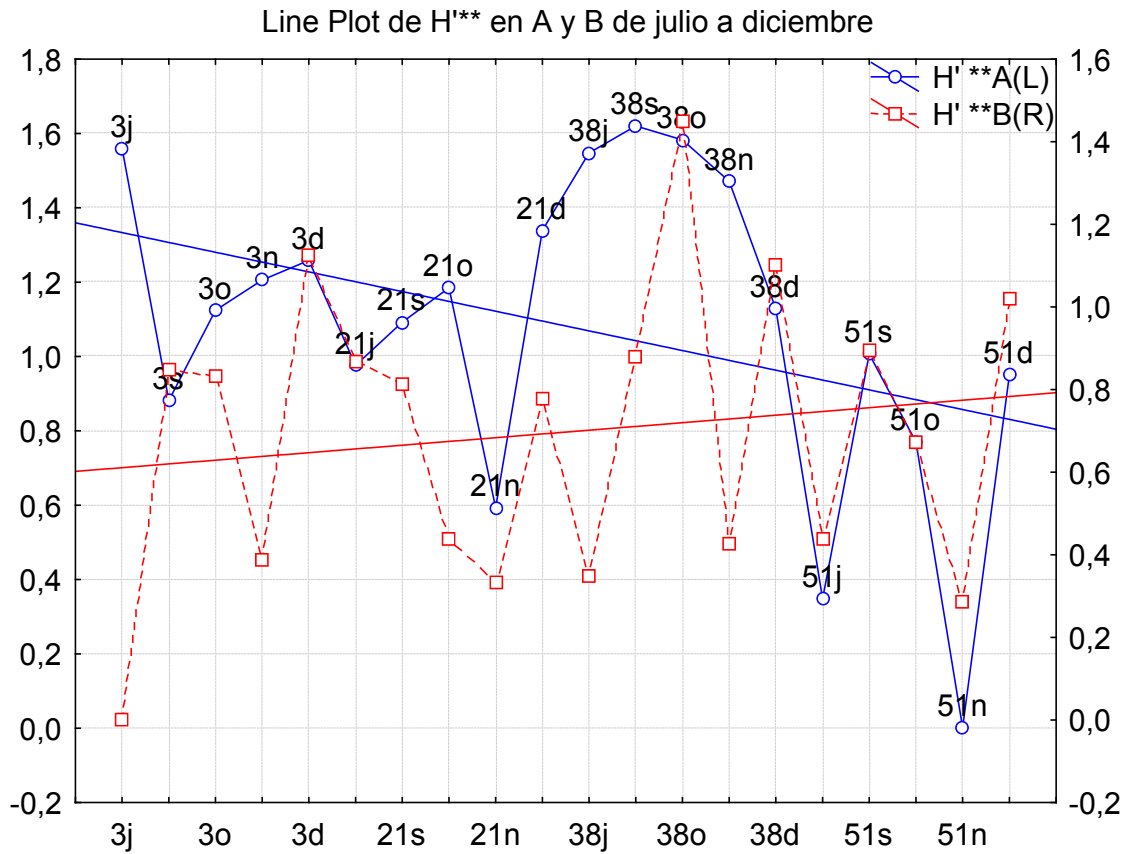


Figura 41. Line plots de la Diversidad de Shannon H<sup>y</sup> y del índice BMWP obtenidos para los sitios de muestreo A y B entre julio a diciembre.

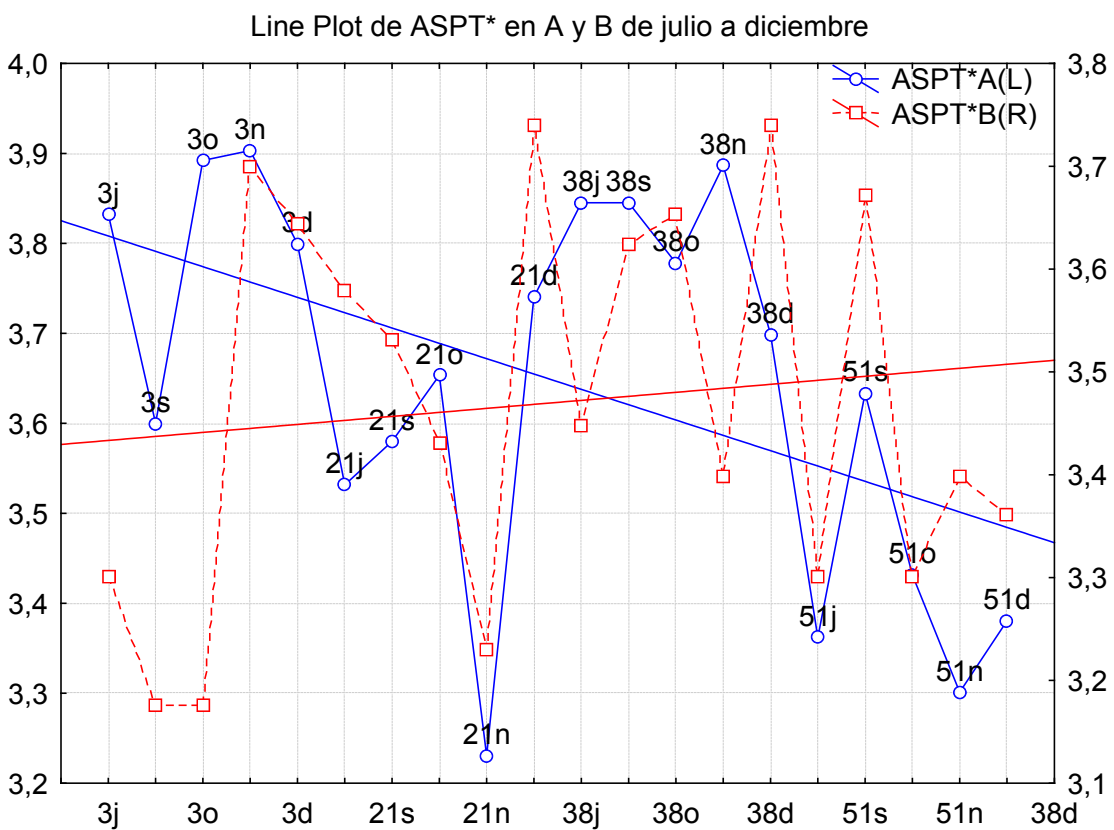
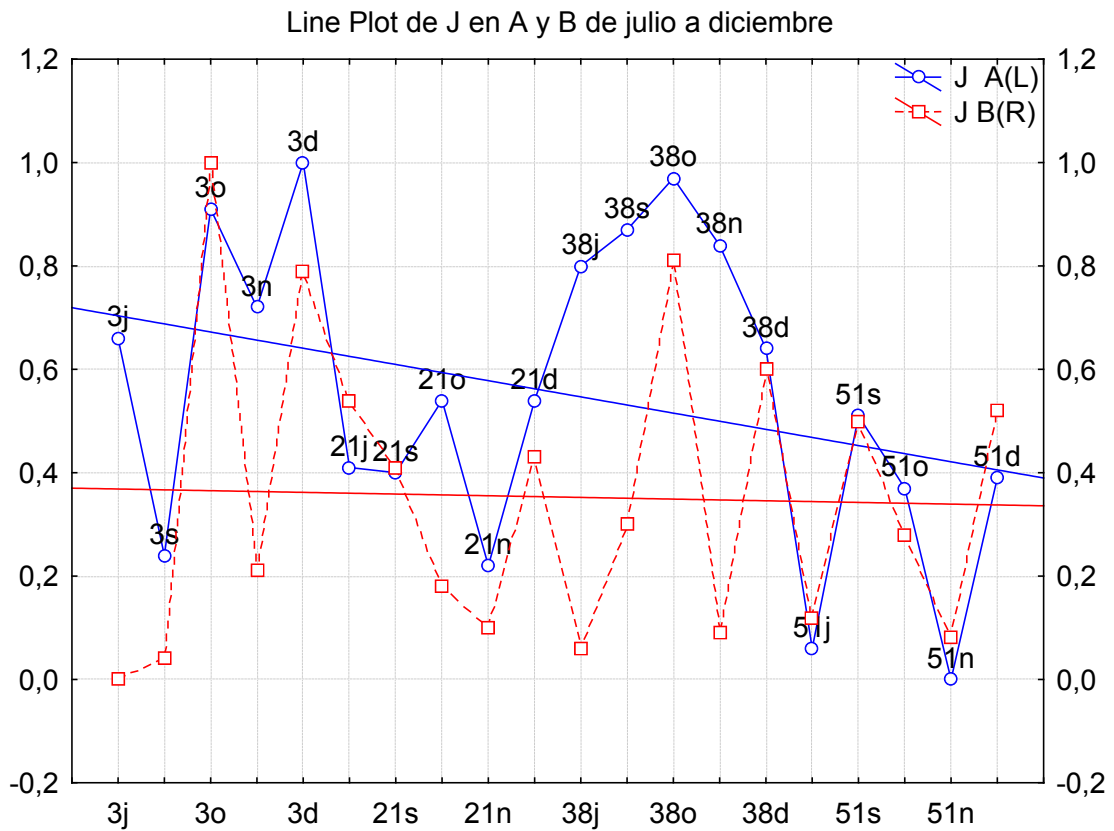


Figura 42. *Line plots* de la Equitatividad J y del índice ASPT obtenidos para los sitios de muestreo A y B de julio a diciembre.

## 5.2.6 RELACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS

### Phylum Annelida

- Clase Oligochaeta. En el municipio de Santander de Quilichao, departamento del Cauca, en las quebradas La Chapa y Tiembla, encontramos:
  - Orden Haplotaxida, G. *Tubifex* (Fam. Tubificidae), *Pontoscolex* (Fam. Glossoscolecidae) y *Drilocrius breymanni* (Fam. Almidae).
- Clase Hirudinea. En las quebradas La Chapa y Tiembla encontramos:
  - Orden Glossiphoniiformes, G. *Oligobdella* (Glossiphoniidae).

### Phylum Mollusca

- Clase Gastropoda. En las quebradas La Chapa y Tiembla encontramos,
  - Orden Basommatophora. Los géneros *Ferrissia* (Ancyliidae) y *Physa* (Physidae).
- Clase Bivalvia. En las quebradas Tiembla y Quimbas se encontró,
  - Orden Unionoida, del género *Anodontites* (Unionidae).

### Phylum Arthropoda

- Clase Crustacea. En la quebrada Vergara encontramos el
  - Orden Decapoda, de la familia Pseudothelphusidae, un ejemplar del género *Hipolobocera beieri*.
- Clase Insecta.
  - Orden Ephemeroptera. En la quebrada La Chapa encontramos *Baetis* (Baetidae), *Leptoxyphes* (Tricorythidae), *Moribaetis* (Baetidae), *Thraulodes* (Leptophlebiidae); en La Cascada *Thraulodes* (Leptophlebiidae); en Vergara: *Moribaetis* (Baetidae) y en el río Mondomo *Lachlania* (Oligoneuriidae).
  - Orden Odonata. En las quebradas La Chapa Tiembla y La Cascada encontramos *Hetaerina* (Calopterygidae); *Brechmorhoga* (Libellulidae), en La Chapa y *Macrothemis* (Libellulidae), en La Cascada.
  - Orden Plecoptera. En el neotrópico, la familia predominante es Perlidae con su género *Anacroneria*; esta también la encontramos en las quebradas La Chapa, Tiembla, La Cascada y en el río Mondomo.
  - Orden Neuroptera (Megaloptera). En las quebradas La Chapa, Tiembla y La Cascada encontramos el género *Corydalus* (Corydalidae).
  - Orden Hemiptera (Heteroptera). Familia Veliidae, género *Rhagovelia* lo encontramos en la quebrada Tiembla; en La Cascada el género *Cryphocricos* (Naucoridae) y en La Chapa y Tiembla, el género *Pelocoris* (Naucoridae).
  - Orden Coleoptera. En la quebrada La Cascada encontramos los géneros *Elodes* (Scirilidae), *Mycrocyloepus* (Elmidae) y *Cyloepus*, este también se encuentra en La Chapa; en esta quebrada hallamos los géneros *Laccophilus* (Dytiscidae), *Helochares* (Hydrophilidae), *Tropisternus* (Hydrophilidae) y *Anchitarsus* (Ptilodactylidae), estos dos últimos géneros también los encontramos en la quebrada Tiembla (el último también está en las quebradas La Cascada, Vergara y Río Mondomo).
  - Orden Trichoptera. En todas las quebradas y río Mondomo encontramos *Leptonema* (Hydropsychidae); *Xiphocentron* (Xiphocentronidae), en La Chapa; *Marilia*

(Odontoceridae), en las quebradas Tiembla y Vergara; *Smicridea* (Hydropsychidae) en La Chapa, Tiembla y La Cascada; *Atopsyche* (Hidrobiosidae) en La Chapa y La Cascada; *Triplectides* (Leptoceridae), en la quebrada Tiembla.

- Orden Lepidoptera. Solo encontramos en la quebrada La Chapa un ejemplar del género *Piralide* (Pyrilidae).
- Orden Diptera. En todas las quebradas y en el río Mondomo encontramos, *Chironomus* (Chironomidae); *Simulium* (Simuliidae), en todas las quebradas; *Limnophora* (Muscidae), en Quimbas, Tiembla y La Cascada; *Tipula sp1* (Tipulidae), *Tipula sp2* (Tipulidae), *Limnophora sp1* (Muscidae) y *Ephydra* (Ephydriidae), en La Chapa y Tiembla; *Stilobezzia* (Ceratopogonidae) y *Hexatoma* (Tipulidae) en la quebrada Quimbas; *Chrysops* (Tabanidae) en la quebrada Tiembla; *Syrphidae* (Syrphidae).

### 5.3 SÍNTESIS DE RESULTADOS

Los resultados de la encuesta nos indicaron que de las 62 rallanderías existentes y operativas en 1999 en el Municipio de Santander, 29 eran de nivel alto, 32 de nivel medio y solo una de nivel bajo, que en aquel momento no estaba operando (46,8 % NT1 y 51,6 % NT2). Solo 43 RALL funcionaron regularmente de julio a diciembre de 1999 debido a escasez de materia prima, agua y recursos económicos.

El funcionamiento estacional de 8-10 meses/año que hemos detectado en nuestras RALL es también apreciado en La India, donde operan por un periodo de 4-5 meses/año; debe tratarse de una situación generalizada en el mundo. Las RALL NT1 procesan 2328 kg/día (ps) de yuca, lo que supone un 65 % más de yuca fresca diaria que las 1300 kg/día (ps) de las NT2; las NT1 consiguen 1,3 t/día de almidón frente a 0,7 t/día las NT2. La explicación está en el hecho de funcionar las NT1 a flujo continuo y utilizar máquinas lavadoras más eficientes y con una capacidad un 73 % mayor. Como consecuencia las NT1 gastan un 69 % más de agua por hora, empleando un 41 % menos de tiempo en el lavado; sin embargo generan más AR (50 m<sup>3</sup>/día) que vierten en continuo durante 9 h, en pequeños caudales de unos 5,5 m<sup>3</sup>/h, arrojando la mancha directamente a las quebradas ya que solo unas pocas RALL recuperan este subproducto. Las RALL NT2 al tener limitada su producción por la capacidad de los tanques de sedimentación deben parar su producción y esperar de 8 a 22 h para la sedimentación del almidón, pero esto les permite recuperar una gran parte de los sólidos, lo que hemos comprobado en los análisis de sus aguas residuales (AR). Vacían sus tanques aproximadamente en 1 h, produciendo grandes caudales de vertido de AR de 33 m<sup>3</sup>/h de media y superando en algunos casos los caudales naturales circulantes, con los evidentes impactos que esto supone para las quebradas receptoras. Para conseguir las 8800 t/año de producción de almidón de las 43 RALL ha sido necesario procesar 39290 t/año de yuca, produciendo un flujo de unos 5306 kg/año de cianuro, vertiendo a los ecosistemas acuáticos unos 246 kg/año de cianuro en sus AR. Tal como se ha comentado en el capítulo de resultados, tanto el tamaño de nuestras RALL y sus producciones consiguientes son menores que las referidas para otros países; están en concreto muy por debajo de los de la India (10-50 t/día) y los de Vietnam del Sur y Tailandia (100-800 t/día), pero por encima de los de Vietnam del Norte (0,25-0,50 t/día).

Hemos comprobado que las mejoras y los desarrollos tecnológicos de esta agroindustria solo han ido dirigidos a aumentar la producción y calidad del almidón, siendo que hasta hoy día no se ha investigado para mejorar en el uso eficiente, racional y sostenible del agua. El uso del agua por las RALL representa un costo ambiental muy alto, por emplear aguas limpias y dulces, tomadas de las cabeceras y posteriormente devueltas muy contaminadas. La sostenibilidad del agua como recurso de la región está seriamente comprometida por el elevadísimo consumo de agua de las RALL -sin olvidarnos de los efectos de la intensa deforestación existente-, así comprobamos que las 12 RALL caracterizadas consumen unos 657 m<sup>3</sup>/día, lo que equivale a la dotación mínima de agua necesaria para una población humana de 5475 hab. Extrapolando para las 43 RALL que funcionan regularmente en el municipio, se trata de un consumo promedio de agua limpia de 4708 hm<sup>3</sup>/año -dotación mínima de una población de 100000 hab-, arrojando 3542 hm<sup>3</sup>/año de AR contaminada.

En relación a los contenidos de cianuro en la materia prima empleada en las RALL, consideramos que la disminución del contenido promedio de CNT encontrado en la yuca (329 mg/kg, ps) frente al de la década de 1980-90, es consecuencia de los avances logrados en los últimos años por el CIAT en el mejoramiento de las variedades de yuca, habiendo aumentado también hasta el 42 % el contenido de MS de la yuca. Estas concentraciones suponen unos flujos diarios de cianuro aportados por la yuca (CNTD) de 0,77 kg/día en las NT1, que son significativamente mayores que los 0,39 kg/día de las NT2. Aunque en ningún caso queda residuo alguno de HCN en el almidón, ya que éste se libera a la atmósfera durante el lavado, rallado, colado, sí que es arrastrado en las AR, al disolverse totalmente en el agua del proceso.

La clara diferencia en la forma de realizarse los vertidos entre los dos niveles tecnológicos de las RALL, tiene como consecuencia la producción de AR más ácidas en las NT2, con un pH de 4,24, frente a un pH de 5,28 en NT1. Esto nos muestra la tendencia ácida de estas AR que hace indispensable la corrección de pH para posibles tratamientos biológicos. El amonio es un 65,5 % mayor en las RALL de NT1 que en las de NT2, siendo igualmente superiores en NT1, un 59 % la DQO y un 71 % la CC. En lo que respecta a los flujos, también los encontramos mayores en NT1: un 75 % los sólidos totales (STD) y un 76% los suspendidos (SSTD) y un 69 % el flujo de los disueltos (SDTD), un 63 % los flujos de nitritos (NNO<sub>2</sub>D), un 81 % los de amonio (NNH<sub>4</sub>D) y un 68 % el flujo de Demanda Química (DQOD). En general todas las AR de las RALL son ácidas debido a los altos contenidos de ácido láctico y acético y en menor proporción de ácido fórmico, propiónico y butírico. Algunos rallanderos utilizan esta agua para quitar el óxido de sus herramientas de trabajo, otros las usan para regar pasto de corte (*Panicetun violaceum*) y caña panelera (*Saccharum officinarum*), que algunos agricultores los siembran en las laderas como barreras vivas para evitar la erosión.

Hemos comparado los valores de la fisicoquímica de las aguas fluviales con las "Normas de Calidad para la destinación del recurso en usos del agua" en Colombia para agua cruda destinada al consumo humano y para los parámetros no recogidos en la misma hemos empleado una norma para Camboya, donde también procesan yuca para obtener almidón. Estas normas no se cumplen ya en algunos casos en los sitios de control de la parte alta de las quebradas; dándose la paradoja de que en cambio algunos sitios B sí las cumplen. Es evidente el impacto de las AR sobre los ecosistemas acuáticos estudiados. El único parámetro de los estudiados para el que no hemos encontrado diferencias significativas entre los sitios A y B es la temperatura del agua. Todas las demás variables,

fisicoquímicas y de contaminación de las aguas, así como las variables biocenóticas y los indicadores bióticos indican cambios significativos de empeoramiento de la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos, independientemente de su situación en la cuenca. Incluso los sitios A muestran ya aguas muy ligeramente ácidas con un pH medio de 6,98 y concentraciones bastante débiles de oxígeno disuelto (OD = 6 mg/l de media), pasando de un 77 % SATOD en los sitios A a un bajísimo 69 % de SATOD y a un pH = 6,64 en los sitios B.

Los nitratos encontrados (0,10–10,40 mg/l) son similares a los encontrados en la India (0,95–14,28 mg/l) en general, con valores bajos en época húmeda y altos en la seca. También encontramos valores parecidos de nitritos en la India (0,09–0,30 mg/l) y en nuestros casos (0,04–0,42 mg/l), dándose una estacionalidad similar a los nitratos. Ningún sitio nuestro está cerca de la concentración máxima permisible establecida por la Directiva (1991/696/EC) sobre nitratos (50 mg/l). Los 0,44 mg/l de nitratos citados por Lassaletta *et al.* (2009) para ríos no contaminados, solo se cumplen cuando los caudales son máximos y el umbral de 8,8 mg/l allí recogido para la protección de las especies de agua dulce más sensible solo es superado en una ocasión (12B: 10,4 mg/l, nitratos).

Los otros estudios que refieren impactos de las agroindustrias de yuca en el mundo han sido realizados en general con aproximaciones menos completas o considerando aspectos más parciales de la cuestión que nuestro estudio. Los estudios encontrados son referentes a La India, Camboya, Vietnam, Nigeria, Brasil y a la propia Colombia. Allí se han encontrado unos efectos similares en general, aunque de muy difícil comparación entre sí y con nuestro estudio, debido a las grandes diferencias de magnitud de los caudales de los ríos considerados y de la población humana asentada en las cuencas afectadas.

Los análisis multivariantes realizados (Componentes Principales) manifiestan fuertes relaciones (40-50 % de la varianza explicada) entre CN-, ST, SST, SDT, CE, NTOT, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y DQO, con el oxígeno del agua (OD y SATOD). También nos han permitido apreciar que los sitios de control de las cabeceras son los que muestran una mejor calidad del agua; que algunos sitios A presentan una contaminación similar a la de los sitios B, cuando están cerca de las desembocaduras o incluso en las cabeceras en época seca. Caso contrario sucede con algunos sitios en B en la parte alta y desembocadura de estas quebradas en la época de lluvias que presentan menor contaminación debido al aumento de caudal en estos meses y que la mayoría de las RALL paran totalmente sus procesos de producción.

Las comparaciones múltiples de medias (Test de Duncan) nos han agrupado las variables de flujo en dos grupos: 1) SSTD, SDTD, NNO<sub>2</sub>D y DBO<sub>5</sub>D, y 2) STD, DQOD, NNO<sub>3</sub>D, CND, NTOTD y CC. Aparecen dos subconjuntos de medias en cada grupo que son significativamente diferentes; el primer subconjunto reúne los sitios con peor calidad del agua, cercanos a las desembocaduras y el segundo el de las mejores calidades en las partes altas de las quebradas (3A y 38A). Llama la atención el caso del sitio 3B que se sitúa ordenado por el test al final o al principio de los subconjuntos (es un valor intermedio entre las mejores calidades de la parte baja de las subcuencas y las peores de la parte alta). En cuanto a las concentraciones, las de CN<sup>-</sup>, DBO<sub>5</sub> y DQO de los sitios 38A y 3A son las que indican las mejores calidades; los demás sitios presentan calidades malas e intermedias; de nuevo el sitio 3B muestra un comportamiento inesperado por su situación en la parte

alta de la cuenca, mostrando elevados valores de  $\text{CN}^-$ ,  $\text{DBO}_5$  y DQO, similares a los de las zonas bajas.

Para evitar daños mínimos a la mayoría de las especies las concentraciones de cianuro libre deben ser muy bajas, del orden de 3-5  $\mu\text{g/l}$ . Estas condiciones ni siquiera se cumplen en muchas ocasiones en los sitios de control de cabeceras, donde hemos llegado a encontrar hasta 51  $\mu\text{g/l}$ . Como vemos la actividad de las RALL deja su huella en los ecosistemas acuáticos ya desde las cabeceras, incluso en tramos donde las RALL sólo operan esporádicamente. La exposición aguda a  $\text{CN}^-$ , que es letal a 300-1000  $\mu\text{g/l}$  se ha llegado a observar en una ocasión en época seca en 12B, llegando a los 710  $\mu\text{g/l}$ .

En los sitios de control de la parte alta de las quebradas se aprecian los mayores valores de riqueza (S), alcanzando los 13 y 14 géneros de MIB, con una S acumulada máxima durante todo el periodo de estudio de 27 (sitio 3A). La diversidad  $H'$  ha llegado esporádicamente a alcanzar valores importantes de 2,7 bits y 3,4 bits en algunos momentos también en controles de cabeceras, mostrando una diversidad acumulada máxima de 3 bits (sitio 38A). En general la riqueza media (3-5) y la diversidad media (0,5-1,2 bits) han sido bajas y siempre significativamente superiores en los sitios A, lo que da una clara idea de la magnitud del impacto. En cambio las densidades (N) de MIB han sido significativamente mayores en los sitios B (N = 348) que en los sitios A (N = 123), lo que no es raro que ocurra en los ríos en los casos de enriquecimiento orgánico, al aportar mayor alimento para la comunidad. Los índices bióticos (BMWP y ASPT) también indican valores críticos y muy críticos de contaminación indicadores de aguas fuertemente contaminadas ya en los sitios A de la parte alta de las quebradas.

Mediante las comparaciones múltiples de medias para los datos biocenóticos, observamos que para la diversidad ( $H'$ ) y la equitatividad (J) se presentan 3 subconjuntos de casos que podemos agrupar en dos subconjuntos de medias significativamente diferentes para  $H'$ . El primer subconjunto reúne los sitios con los mayores valores de  $H'$  de la parte alta de las quebradas y menos contaminados, como ya hemos comentado y el segundo subconjunto, el de los menores valores de  $H'$  que agrupa los sitios de la parte baja de estas quebradas (con la excepción de 3B y 38B), y que son los sitios más contaminados. Pasa lo mismo para la Equitatividad (J), el BMWP y el ASPT. Para estos cuatro parámetros bióticos al igual que en los fisicoquímicos 3B representa sitio de mayor contaminación.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- 1) Hemos apreciado una gran fluctuación interanual en el número de RALL existentes y operativas en el N del Cauca dedicadas a la obtención de almidón agrio de yuca, lo que es esperable tratándose de una agroindustria artesanal en reconversión.
- 2) Las RALL procesan la yuca empleando diferentes tecnologías, que han ido reuniéndose con el paso del tiempo en 2 niveles tecnológicos: las RALL de NT1, de funcionamiento en flujo continuo por sedimentación en canales y las NT2, que sedimentan el almidón en tanques, procesando las NT1 más yuca fresca/día que las NT2.
- 3) Múltiples factores determinan que operen en régimen estacional, 8 meses/año las NT2 y 10 meses/año las NT1, funcionando sólo esporádicamente algunas. En otros países tropicales también se trata de una actividad estacional, operando en la India unos 4-5 meses/año.
- 4) Las 43 RALL operativas procesaban 39290 t/año de yuca para una producción de 8800 t/año de almidón; siendo unos niveles de producción muy bajos comparándolos con los de otros países, debido al menor número de RALL y a la menor producción/RALL, estando muy por debajo de la India, Vietnam del Sur y Tailandia, aunque por encima de Vietnam del Norte. y Ecuador.
- 5) El gasto promedio de agua limpia de las RALL tomada de las caberas es del orden de 43-66 m<sup>3</sup>/día, lo que supone un coste ambiental demasiado alto. El consumo de agua entre las 43 RALL operativas equivaldría al de una población humana de 100000 hab, posteriormente vertiendo unos 3542 hm<sup>3</sup>/año de AR con 246 kg/año de CN, afectando gravemente los ecosistemas acuáticos.
- 6) Las RALL NT1 generan 50 m<sup>3</sup>/día de AR vertidas en continuo durante 9 h, en pequeños caudales de 5,5 m<sup>3</sup>/h. Las NT2 deben esperar 8-22 h, recuperando una gran parte de los sólidos, vaciando sus tanques en 1 h aproximadamente, produciendo caudales de vertido de 33 m<sup>3</sup>/h, superando en ocasiones los caudales naturales circulantes, con los evidentes impactos que esto supone para las quebradas receptoras.
- 7) El contenido medio de CN<sup>-</sup> en la yuca empleada en las 12 RALL ha sido de 329 mg/kg (ps), lo que parece indicar una disminución desde la década de 1980-90, cuando se referían concentraciones de 110-1129 mg/kg (ps), lo que podría ser consecuencia de los avances logrados por el CIAT en el mejoramiento de las variedades de yuca.
- 8) Independientemente del NT, las AR presentaron una elevada carga contaminante (CC) con concentraciones preocupantes de CN<sup>-</sup> de 710 µg/l de media, con un pH = 4,24 en las NT2, significativamente menor que el pH = 5,28 de NT1, siendo en NT1 un 65 % mayores, el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> con 1,1 mg/l y un 59 % mayor la DQO, con 5714 mg/l.
- 9) Los flujos diarios de CN en las AR son de 0,77 kg/día en las NT1, significativamente mayores que los 0,39 kg/día de CN de las NT2.
- 10) También en NT1 el flujo diario es un 75 % mayor en sólidos totales (STD), un 76% en el de suspendidos (SSTD), un 69 % en el de los disueltos (SDTD), un 63 % en el de nitritos (NNO<sub>2</sub>D), un 81 % en el de amonio (NNH<sub>4</sub>D) y un 68 % en el flujo de DQOD.

- 11) La calidad del agua de los riachuelos receptores se ve significativamente disminuida por estas AR, acrecentándose los efectos en los meses más secos.
- 12) Es de destacar la disminución en los sitios B del OD y los incrementos de sólidos disueltos y en suspensión, de la DBO<sub>5</sub>, DQO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NTOT; sólo la temperatura del agua no ha mostrado diferencias significativas entre sitios A y B.
- 13) Se han encontrado valores de nitratos comprendidos entre 0,1–10,4 mg/l, siendo 0,04–0,42 mg/l los de nitritos, ambos con valores bajos en época húmeda y altos en la seca; en la India se refieren concentraciones similares, dándose también esta estacionalidad.
- 14) Solo con los caudales máximos no se superan los 0,44 mg/l de nitratos recomendados para ríos no contaminados, mientras que el umbral de 8,8 mg/l para proteger a las especies de agua dulce más sensibles, solo es superado en una ocasión (12B: 10,4 mg/l, nitratos).
- 15) La taxocenosis de MIB muestra en general una significativa pérdida de estructura, con menores riqueza (S) y diversidad (H') y mostrando mayores densidades (N) en los sitios B.
- 16) Los índices bióticos empleados, las adaptaciones para Colombia de BMWP y ASPT, también indican pérdida de calidad en los sitios B.
- 17) Las concentraciones de CN<sup>-</sup> de las AR que llegan a alcanzar los 3,1 mg/l y las encontradas en las quebradas, con una media de 41 µg/l en los sitios B, deben de ser las responsables de gran parte de los daños detectados en las biocenosis, ya que son incompatibles con el desarrollo adecuado de muchos organismos.
- 18) En general se aprecia un evidente empeoramiento de la calidad ecológica de los ríos y arroyos según discurren sus aguas hacia las desembocaduras, recogiendo muchos otros tipos de vertidos, sin dar casi oportunidad a los procesos ecológicos de autodepuración.
- 19) Como consecuencia los sitios A y B son más similares entre sí en las zonas bajas de las cuencas, ya más contaminadas por todos los usos del territorio, que en las cabeceras, donde los vertidos de las rallanderías producen un efecto negativo más claro.
- 20) En la época seca y comienzo de la lluviosa se presentan niveles bajos de caudal y valores críticos de contaminación aún en las cabeceras de las cuencas que se agudizan en la parte media y mucho más en la desembocadura.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Los rallanderos manifestaron en la encuesta su preocupación por el aspecto de las quebradas, que opinaban, estaban muy degradadas. Así mismo indicaron su voluntad de contribuir a la mejora de las condiciones ambientales de su territorio y a la realización de nuestro estudio. Sin embargo, es necesario que los rallanderos se organicen, ya que la única cooperativa que agrupaba a unos pocos ha desaparecido. Sin una amplia base social que esté unida para luchar solidariamente por su gremio, difícilmente podrán exigir y conseguir ayuda para resolver sus problemas de contaminación, calidad y cantidad de agua para el proceso.

A continuación paso a exponer algunas recomendaciones en busca de mejorar la calidad ambiental y el desarrollo local sostenible.

- 1) Los avances tecnológicos muestran que una buena opción para posibles tratamientos de estas aguas residuales puede encontrarse en la utilización de procesos de tratamiento integrados,

como el anaerobio en serie con aerobio. Según Rojas (1999) esta secuencia ha demostrado alcanzar altas eficiencias de remoción de materia orgánica, mayores que las derivadas de los procesos convencionales y a menor costo; debido al elevado precio de los equipos necesarios para la aireación, tratamiento y disposición de los lodos aerobios. Las lagunas de estabilización son consideradas una buena opción por sus bajos costos en operación y mantenimiento (la RALL 56 tiene una al pie del río Mondomo), pero no son aplicables en unos casos por la topografía del terreno, pues gran parte de las rallanderías están ubicadas en zonas de ladera y en otros por el alto costo de la tierra. Otra opción es el filtrado de estas aguas que algunas RALL han construido pero se deben evaluar para poder determinar el filtro adecuado, los niveles de eficiencia y la relación costos/beneficios ambientales para determinar la mejor opción.

- 2) Al estar la mayoría de las RALL ubicadas en zonas de ladera, permitiría utilizar de una manera fácil, económica. controlando solo pH y caudales de sus AR, en riego de pasto de corte (*Panicetun violaceum*) y caña panelera (*Saccharum officinarum*), que además de servir como barreras vivas para evitar la erosión que se presenta en la zona, representaría un ingreso extra para el productor y una carga contaminante menos para las quebradas.
- 3) Otra utilización complementaria sería el uso de biodigestores para degradar la materia orgánica, producir gas para la cocina y para secado de los subproductos de la yuca y del almidón dulce.
- 4) Es muy importante reciclar el subproducto del lavado de las raíces de yuca, junto con los desechos de la finca (animales y plantas) y de las casas, para la producción de abonos orgánicos que pueden servir para mejorar la estructura del suelo y elevar los niveles de eficiencia en los cultivos.
- 5) Es muy importante establecer un control para estos caudales mínimos y hacer cumplir la normatividad que regula la toma de aguas en la parte alta de las microcuencas y un plan de vigilancia y control de todos los vertidos y desperdicios que son arrojados a sus cauces.
- 6) La CRC, mediante el decreto 901 de 1997, establece metas de reducción de carga contaminante en las fuentes de agua y por lo tanto debe hacerlas cumplir, no solo a esta agroindustria, sino a todos los que están arrojando sus desperdicios directa o indirectamente a las quebradas, pero apoyándolos con estudios, diseños, educación ambiental e infraestructuras que permitan devolver y dar una nueva vida a las maltratadas y castigadas quebradas y ríos de la zona.
- 7) Estos caudales mínimos son producto de la pérdida de la protección superficial del suelo, debido a la deforestación, la cual produce la alteración de los horizontes del suelo y el incremento de su temperatura por la pérdida de protección y el aumento de la insolación, acelerando la volatilización de los nutrientes; esto se refleja en la alteración de las características físicas y químicas del suelo, en cambios de la relación planta-suelo y en la disminución de la capacidad productiva. La tala indiscriminada aumenta las posibilidades de erosión, por lo cual este proceso de antropización relacionado con los ecosistemas acuáticos está ocasionando la pérdida de áreas o zonas ecotonales que aportan material alóctono que contribuye a la producción primaria y al aumento de la turbiedad del agua. Las actividades antrópicas en las subcuencas del Cauca han afectado su funcionamiento al intervenir la dinámica fluvial del río en detrimento de la calidad del agua y alterando la zonación transversal y longitudinal de la vegetación y el paisaje fluvial.
- 8) Para algunos tramos de la carretera que circunda por la parte alta de la microcuenca de la Chapa y Tiembra y que están presentando problemas de erosión, se deben colocar trinchos para control

de cárcavas, hacer terrazas, barreras vivas, sembrar pastos, lo mismo que hacer y adecuar drenajes para evitar la erosión en los lugares que amerite (canales de desagüe y cajas disipadoras para evacuar en forma controlada la escorrentía interceptada por un sistema de obras físicas, cuando no existe un desagüe natural que cumpla satisfactoriamente esta función). Para el caso de la erosión causada por el sobrepastoreo se debe dar la alternativa de manejo de praderas con barreras vivas de pasto de corte y construcción de terrazas.

- 9) La recuperación mediante un proceso intensivo de reforestación con especies nativas, permitirá la recuperación de la diversidad biológica mejorando la calidad de los suelos, porque se aumenta la fertilidad del suelo y se mejora su retención de humedad, estructura y contenido de nutrientes (reduciendo la lixiviación, proporcionando abono verde y agregando nitrógeno, en el caso de que las especies utilizadas sean de este tipo) e incrementando la productividad de los cultivos. La siembra de árboles estabiliza los suelos, reduciendo la erosión hidráulica y eólica de las laderas, los campos agrícolas cercanos y los suelos no consolidados, La cobertura arbórea también ayuda a reducir el flujo rápido de las aguas lluvias, regulando, de esta manera, el caudal de los ríos, mejorando la calidad del agua y reduciendo la entrada de sedimento a las aguas superficiales. La magnitud de los caudales determina el tamaño del río y sus condiciones hidráulicas. La secuencia diaria, mensual y anual de los mismos condiciona muchas de las propiedades físicas y biológicas de cada río. La velocidad de la corriente está íntimamente ligada a la magnitud de los caudales y es uno de los factores de los cuales dependen en gran medida las comunidades de organismos de los ríos, utilizando directamente el movimiento del agua para su alimentación o respiración, o indirectamente a través del sustrato que este genera (Hynes, 1970). Debajo de los árboles, las temperaturas más frescas y los ciclos húmedos y secos moderados constituyen un microclima favorable para los microorganismos y la fauna; ayuda a prevenir la laterización del suelo. Las plantaciones tienen un efecto moderador sobre los vientos y ayudan a asentar el polvo y otras partículas del aire.
- 10) Otra estrategia es la de introducir un proyecto de cultivo de frutales, como parte del proceso de reforestación porque será un importante aporte a la dieta de la familia y a la generación de empleo e ingreso para las familias; en esta estrategia desempeñará un papel fundamental la mujer campesina, mejorando el nivel nutricional de su familia y generando sus propios ingresos por la venta de excedentes de la producción de frutas. En este sentido el proyecto tendrá un efecto inmediato en la protección de las fuentes de agua y un efecto permanente en el mejoramiento de las condiciones de producción, además de la concientización y capacitación de las comunidades campesinas en la conservación de los recursos naturales.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- AFIFI, A. A. y V. CLARK, 1998. *Computer-Aided Multivariate Analysis*. Lifetime Learning Pubs. Third Ed. Chapman & Hall.
- ALARCON, F. y D. DUFOUR, 1998. Almidón agrio de yuca en Colombia. Publicación N°. 268. CIAT, Cali. Colombia.
- ALBA-TERCEDOR, J., 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería. Vol. II: 203-213. ISBN: 84-7840-261-6.
- ALBA-TERCEDOR, J. y F. JIMÉNEZ-MILLÁN, 1987. Evaluación de las variaciones estacionales de la calidad de las aguas del río Guadalfeo, basada en el estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Lucdeme III. ICONA, Monografía 48: 1-91.
- ALBA-TERCEDOR, J. y A. SÁNCHEZ-ORTEGA, 1988. Un Método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.
- ALBA-TERCEDOR, J., I. PARDO, N. PRAT y A. PUJANTE, 2005. Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos. Confederación Hidrográfica del Ebro, Ministerio de Medio Ambiente. Zaragoza. 57 pp.
- APHA-AWWA-WPCF, 1992. Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales. Preparado y publicado conjuntamente por American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Directora de edición Mary Ann H. Frason. Edición en español de Díaz de Santos. Madrid.
- APHA-AWWA-WEF, 1995. *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater*. 19th ed. Washington.
- APONTE, L., 1996. Efectos del cianuro sobre la fermentación metanogénica. Estudios realizados en reactores anaeróbicos en flujo discontinuo. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- ARANGO, M. C. y G. ROLDÁN, 1983. Odonatos inmaduros del Departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Act. Biol.*, 12(46): 91-105.
- ARIMORO, F. O., M. A. IWEGBUE, B. O. ENEMUDO, «Effects of Cassava Effluent on Benthic Macroinvertebrate Assemblages in a Tropical stream in Southern Nigeria.» *Acta Zoológica Lituanica* 18(2) (2008): 147-156.
- ARISTIZABAL, J., SANCHEZ, T. y MEJIA, D., 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. En: Boletín de servicios agrícolas de la FAO No. 163. FAO, Roma. 134pp.
- ARMENGOL, J., PRAT, N. y BONADA, N. 2002. Resultado del proyecto GUADALMED sobre el Estado Ecológico de los ríos Mediterráneos. Volumen Especial. Joan Armengol (Ed.), Narcís Prat y Núria Bonada (Eds. invitados). *Limnetica*, 21(3-4). 204 pp.
- ARMITAGE, P. D., D. MOSS, J.F. WRIGHT and M.T. FURSE, 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water. *Water Res.*, 17(3): 333-347.
- AYRES, J. C., 1972. Processing of cassava for industrial and food use. In: A literature review and research recommendations on cassava (CH Henderholt, Ed.). Univ. Georgia Press Athens. pp 183-221
- BALL, I. R., 1980. Fresh-water planarians from Colombia: a revision of fuhrmann's types. *Bijdr. Dierkunde*, 50: 235-242.
- BARBOUR, M. T., GERRITSEN, J. SNYDER, B. D. and STRIBLING, J. B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Stream and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish, Second Edition. [EPA 841-B-99-002](#). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington, D. C.
- BAZZANTI, M. and M. SEMINARA, 1987. Prefunded macrobenthos structure as measure of long-term environmental stress in a polluted lake. *Water, Air and Soil Pollution*, 33:435-442.
- BEDOYA, I. and G. ROLDÁN, 1984. Estudio de los dípteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales en el departamento de Antioquia. *Rev. Asoc. Col. Cien. Biol.*, 2(2): 113-134.
- BENEDETTO, L., 1974. Clave para la determinación de los plecoterios Sudamericanos. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* 9: 141-170.
- BLAGO, R. B., 1989. Indirect determination of free cyanide by atomic absorption spectroscopy. *Atomic Spectrosc.* 10:74-76.
- BOAVIDA, M.J., 2005. Robert G. Wetzel, in memoriam. *Limnetica*, 24(3-4): 198.
- BOHORQUEZ, A., A. ACUÑA. 1984. Inventario de las morfofamilias de las Clases Gasteropoda y Clitelata, como bioindicadores limnológicos de la Laguna de la Herrera p.22. XIX Congreso Nacional. y III Gran colombiano de Ciencias Biológicas. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 70 pp.
- BOLHUIS, G. G., 1954. The toxicity of cassava roots. *Neth J Sci.* 2:176-185.
- BRADBURY, J. H., 2006. Simple wetting method to reduce cyanogens content of cassava flour. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 388-393.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid: H-Blume. 820 pp.

- BRILLOUIN, L., 1951. Maxwell's Demon cannot operate: Information and Entropy. I and II. *J. Appl. Phys.* 22: 334-43.
- BROWN, L. R., 1993. El inicio de una nueva era. En: L. R. Brown, C. Flavin y H. French. *La situación del mundo 1993*. Barcelona: Apóstrofe.
- BUITRAGO, J. A., 1990. *La yuca en la alimentación animal*. CIAT, Cali. Colombia.
- CAI, Z., 2005. Cyanide. In: Wexler, P., Chief ed. *Encyclopedia of Toxicology*, 2nd edition. Elsevier. Oxford, UK. pp. 698-701.
- CASTILLO, S. M. y H. ZAMORA, 1999. Evaluación del efecto generado por la extracción de arena sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad físico-química del agua en el río Los Robles, Departamento del Cauca. *Cespedesia*, 73-74 (23): 79-98.
- CEBALLOS, H. y A. DE LA CRUZ, 2002. Taxonomía y morfología de la yuca. En: *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*, p.28. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.
- CEREDA, M. P. and M. TAKAHASHI, 1996. Cassava Wastes: Their Characterization, and Uses and Treatment in Brazil. In: *Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development*. Edited by: D. Dufour, G. M. O'Brien and Rupert Best. CIRAD-CIAT. Publication No. 271. Cali, Colombia. Pp. 221-232. [www.ciat.cgiar.org/agroempresas/pdf/contents.pdf](http://www.ciat.cgiar.org/agroempresas/pdf/contents.pdf)
- CHANDLER, J. R. 1970. A biological approach to water quality management. *Water Pollution Control* 69: 415-421.
- CHAUX, C. A. y U. E. VERGARA, 2005. Optimización de la sedimentación del subproducto « mancha » en el proceso de extracción de almidón agro de yuca. Implementación de producción más limpia. Tesis de grado, Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil, Programa de Ingeniería Ambiental. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental, GIIA. Popayán.
- CHUZEL, G. et J. MUCHNIK, 1993. La valorisation des ressources techniques locales: l'amidon aigre de manioc en Colombie. En: *Alimentation, techniques et innovations dans les régions tropicales*. Harmattan, Paris.
- CIAT, CORPOTUNIA, CIRAD, CETEC, UNIVALLE, FUNDACION CARVAJAL, 1995. *La industria del almidón en el Departamento del Cauca*, Colombia. Cali, Colombia.
- CIMADEVILLA, G., 2004. Acción mediática y representaciones ambientales. Vías de espectacularización y desconexión. Colección Monografías, N° 15. Caracas: Programa Globalización, Cultura y Transformaciones Sociales, CIPOST, FACES, Universidad Central de Venezuela. 84 pp.
- CLEMENTS, W. H., D. S. CHERRY and J. CAIRNS Jr., 1988. Impact of Heavy Metals on Insect Communities in Streams: A Comparison of Observational and Experimental Results. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 4: 2017-2025.
- CODY, R. P. and J. K. SMITH, 1997. *Applied Statistics and the SAS Programming Language*. Fourth Ed. Prentice Hall.
- CONN, E. E., 1969. Cyanogens glycosides. *J. Agric. Food Chem.* 17:519-526.
- COOKE, R. D., 1978. An enzymatic assay for the total cyanide content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J Sci Food Agric.* 29:345-352.
- COOKE, R. D. and E. M. DE LA CRUZ, 1982. An evaluation of enzymic and autolytic assays for cyanide in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J Sci Food Agric.* 33:1001-1009.
- COOKE, R. D., J. E. RICHARD and A. R. THOMPSON, 1985. Nutritional aspects of cassava storage and processing. In: *Vllth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops*, Guadeloupe, July 1985. pp. 645-648.
- CORBET, P. S., 1980. Biology of Odonata. *Ann. Rev. Ent.*, 25: 189-217.
- CORTES, B. R. 1994. Cambios recientes en los nombres científicos de especies de importancia forestal. Santafé de Bogotá: *Colombia Forestal, Nueva Época*, 4 (8): 51-62.
- COURSEY, D. G. 1973. Cassava as food: toxicity and technology. In: *Chronic cassava toxicity. Proc. Interdisciplinary Workshop* (B. Nestel y R. MacIntyre, Ed.) London p 27-36.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, CRC. 2004a. "Caracterización de Vertimientos Municipales e Industriales y Evaluación de la Calidad del Agua en Tramos de Ríos, Objeto de la aplicación del Decreto 901/97". Resumen Final de las Caracterizaciones. Proyecto No. 2003-006. Santiago de Cali.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, CRC. 2004b. "Proyecto de Control de la Contaminación Hídrica y Producción Más Limpia en el Sector Rallanderías del Cauca". Subdirección de Gestión Ambiental. Popayán.
- CUATRECASAS, J., 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fis. Nat.*, 10 (40): 221-264.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DANE, 2003. Censo de plantas procesadoras de yuca para uso industrial. Disponible en internet: [http://www.profesorenlinea.cl/swf/links/frame\\_top.php?dest=http%3A//www.porenlinea.cl/ecologiaambiente/contaminacionflorafauna.htm](http://www.profesorenlinea.cl/swf/links/frame_top.php?dest=http%3A//www.porenlinea.cl/ecologiaambiente/contaminacionflorafauna.htm).

- DANY, V. and C. ELIYAN, 2010. Wastewater Treatment Practices: A Case Study on Large Scale Cassava, Palm Oil and Ethanol Factories in Cambodia. Department of Environmental Science, RUPP.
- DE BRUIJN, G. H. 1971. Étude du caractère cyanogénétique du manioc (*Manihot esculenta* Crantz). Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 71-13:1-140.
- DE BRUIJN, G. H. 1973. The cyanogenic character of cassava (*Manihot esculenta*). In: Chronic cassava toxicity. Proc. Interdisciplinary Workshop (B Nestel y R MacIntyre, Ed.) London. pp. 43-48.
- DE SAINT AMAND, J. D., 1960. Étude de la teneur en hétéroside cyanogénétique des variétés de manioc cultivé sur les hauts plateaux de Madagascar. Sta. Agronom. Lac. Aloatra. Tananarive. pp. 59.
- DIXON, W. J. and F. J. MASSEY, 1983. Introduction to Statistical Analysis. Fourth Ed. McGraw-Hill.
- DUNN, O. J. and V. A. CLARK, 1987. Applied Statistics. Analysis of Variance and Regression. John Wiley & Sons. Second Ed.
- EISLER, R., 1991. Cyanide Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review. U.S. Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 85 (1.23). 55 pp.
- ELORRIETA, J. I., 1981. Biología de la contaminación en el sistema Sorbe-Henares. Universidad Complutense de Madrid. Tesis doctoral. Madrid. 459 pp.
- EPA: U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1980. Ambient water quality criteria for cyanides. U.S. EPA. Rep. 440/5-80-037. 72 pp.
- ESLAVA, J. A., G. V. LOPEZ y T. G. OLAYA., 1986. Contribución al conocimiento del régimen térmico y pluviométrico de Colombia. Colombia Geográfica, XII (2): 53-114. Bogotá: IGAC.
- ESPINAL, L. S., 1981 Apuntes sobre la flora de la región central del Cauca. Cali: Universidad del Valle, 136 pp.
- ESSERS, S. A. J. A., M. BOSVELD, R. M. van der GRIFT and A. G. J. VORAGEN, 1993. Studies on the quantification of specific cyanogens in cassava products and introduction of a new chromogen. J. Sci. Food Agric., 63: 287-296.
- EVERITT, B. S. and G. A. DER, 1996. Handbook of Statistical Analyses using SAS. Chapman & Hall. London.
- FAO and IFAD, 2001. An assessment of the impact of cassava production and processing on the environment and biodiversity. Rome.
- FAUST y BOTERO RAMOS, 1960. Extraordinario hallazgo de una nueva especie de Neochordodes (Gordiacea) en Colombia. En Libro de homenaje al Dr. Eduardo Caballero y Caballero, Jubileo 1930-1960, Instituto Politécnico Nacional, México, p. 523-527.
- FERNÁNDEZ, A., J. WENHAM, D. DUFOR and C.C. WHEATLEY, 1992. The Influence of Variety and Processing on the Physicochemical and Functional Properties of Cassava Starch and Flour. In: Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development. Edited by: D. Dufour, G. M. O'Brien and Rupert Best. CIRAD-CIAT Publication No. 271. Cali, Colombia. Pp. 263-269. [www.ciat.cgiar.org/agroempresas/pdf/contents.pdf](http://www.ciat.cgiar.org/agroempresas/pdf/contents.pdf).
- FISHER, R. A., A. S. CORBER and C. B. WILLIAMS, 1943. The relation between the Number of Species and the Number of Individuals in a Random Sample of an Animal Population. J. Anim. Ecol., 12: 42-58.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, FNC. 1978. Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del Departamento del Cauca. Sección Agrología. Bogotá: FEDERACAFE, 177p.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, FNC. 1999. Mapa de suelos ecotopo 217 A en la zona cafetera del Departamento del Cauca. Bogotá: FEDERACAFE.
- FRANCO LOPEZ, 1985. Manual de Ecología. México, D. F: Trillas. 266p.
- FROELICH, C. G, 1969. Studies on Brazilian Plecoptera 1. Some Gripopterygidae from Biological Station at paranapiacoba State of Sao Paulo. Beitr. Neotrop. Fauna 6(1): 17-39.
- FROELICH, C. G, 1981. Plecoptera. En: Aquatic biota of South Tropical. Parte I. Arthropoda, de G. Rodriguez, N. D. Dos Santos S.H. Hurlbert, 150. Pp 86-88
- FROELICH, C. G, 1984a. Brazilian Plecoptera 2. Species of the serrana group of Kempnyia (Plecoptera). Aquatic Insects 6(3): 137-147.
- FROELICH, C. G, 1984b. Brazilian Plecoptera 3. Macrogynoplax veneranda sp. n. (Perlidae: Anacroneuriinae). Annals Limnol.: 39-42.
- FROELICH, C. G, 1984c. Brazilian Plecoptera 4. Nymphs of perlid genera from southeastern Brazil. Annals Limnol.: 43-48.
- GALDEAN, N., M. CALLISTO, F. A. R. BARBOSA, 2000. Lotic ecosystems of Serra do Cipó southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. Aquatic Ecosystem Health and Management 3 (2000) 545-552.
- GALLEGO, L.M. y P. L. GARCÉS, 2006. Adaptación del método colorimétrico de picrato para la determinación de cianuro en las aguas residuales provenientes del proceso de extracción de almidón agro de yuca y evaluación preliminar de la calidad del agua de la quebrada "La Tiembra" del corregimiento de Mondomo (Cauca). Tesis de grado, Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil, Programa de Ingeniería Ambiental. Popayán.

- GARCIA, A., 2003. Colombia país maravilloso. En:  
<http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/relieve.html>, y  
<http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/hidrografia.html>.
- GARCÍA-JALÓN, D. y M. GONZÁLEZ del TÁNAGO, 1995. Restauración de ríos y riberas. Fundación Conde del Valle de Salazar. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- GEE, A. S. and J. H. STONER, 1989. A review of the causes and effects of acidification of surface waters in Wales and potential mitigation techniques. Springer New York: Archives Environmental Contamination and toxicology, 18: 121-130.
- GENTRY, A. H., 1986. Species Richness and Florist Composition of Chocó Region Plant Communities. *Caldasia*, XV (71-75): 71-92.
- GENTRY, A., 1993a. A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru). Washington D.C: Conservation International, 895pp.
- GENTRY, A., 1993b. Patterns of Diversity and Florist Composition in Neotropical Montane Forests. En: Churchill, S. P., Balslev H., Forero E. & J.L. . Biodiversity of Neotropical Montane Forests. The New York Botanical Garden. New York. p. 103-126.
- GILLER, P. S. and B. MALMQVIST, 1998. The Biology of stream and rivers. Oxford. Univ. Press, Oxford.
- GÓMEZ, G. G., 1982. Cassava, cyanide and animal nutrition. In: Workshop on Cassava Toxicity and Thyroid: Research and Public Health Issues. Ottawa, International Development Research Center.
- GÓMEZ, G. G., C. CAMACHO y J. H. MANER, 1976. Utilización de yuca fresca y harina de yuca en alimentación porcina. *Sem. Int. Ganadería Trop. Acapulco*. pp 91-102.
- GÓMEZ, G. G., D. DE LA CUESTA, M., VALDIVIESO y K. KAWANO, 1980. Contenido de cianuro total y libre en parénquima y cáscara de raíces de diez variedades promisorias de yuca. *Turrialba* 30:361-365.
- GÓMEZ, G. G., M. VALDIVIESO, D. DE LA CUESTA y K. KAWANO, 1984b. Cyanide content in whole-root chips of ten cassava cultivars and its reduction by oven-drying or sun-drying in trays. *J Food Technol.* 19:97-102.
- GONZÁLEZ, G., X. MILLET, N. PRAT and A. PUIG, 1985. Patterns of Macroinvertebrate distribution in the Llobregat River Basin (NE Spain). *Verh. Internat. Verein. Linmol.*, 22: 2081-2086.
- GOTTRET, M. V., 1996. Caracterización tecnológica y adopción de tecnología en las rallanderías del departamento del Cauca, Colombia. Segundo Simposio Latinoamericano de investigación y extensión en Sistemas Agroalimentarios, Santafé de Bogotá. CIAT. Cali. Colombia.
- HANNAFORD, M. J. and V. H. RESH, 1995. Variability in macroinvertebrate rapid-bioassessment surveys and habitat assessments in a northern California stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 14: 430-439.
- HARRIS, S. C., T. H. MARTIN, and K.W. CUMMINS, 1995. A Model for Aquatic Invertebrate Response to Kissimmee River Restoration. *Restoration Ecology*, 3: 181-194.
- HILSENHOFF, W. L., 1977. Use of Arthropods to Evaluate Water Quality of Streams. Technical Bulletin No. 100. U.S. Department of Nature Research.
- HILSENHOFF, W. L., 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7: 65-68.
- HOLDRIDGE, L. R., 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. Trad. de Humberto Jiménez Soa. XX ed. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 158 pp.
- HORNUNG, M. and B. REYNOLDS, 1995. The effects of natural and anthropogenic environmental changes on ecosystem processes at the catchment scale. *Trends in Ecology and Evolution*, 10: 443-448.
- HYNES, H. B. N., 1970. *The Ecology of Running Waters*. Liverpool, Great Britain: Liverpool University Press. 555 pp.
- IDROBO, L. F., 1996. Evaluación de la toxicidad del cianuro en condiciones anaeróbicas en reactores de flujo continuo. Tesis de grado. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia, Memoria explicativa sobre el mapa ecológico, Volumen XIII, No 11. IGAC. Bogotá, Colombia. 238 pp.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC. 1979. Estudio general de suelos de la parte alta de las cuencas de los ríos Piendamó, Cajibío y Ovejas (Departamento del Cauca). Subdirección de Agrología. IGAC. Bogotá. 302 pp.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI., 1995. Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Subdirección de Agrología. IGAC. Bogotá 632p.
- ILLIES, J., 1963. Revisión des südamerikanischen Grypopterygidae (Plecoptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 36(3): 145-248.
- JEWETT, S. G., 1959. Seven species of *Anacroneria* from Peru (plecoptera). *Wasman J. of Biol.* 17(1): 105-113.
- JEWETT, S. G., 1960. Notes and descriptions concerning Brazilian Stoneflies (plecoptera). *Arq. Mus. Nac.* 50: 167-183.
- KARR, J. R., 1991. Biological Integrity: a long neglected aspect of Water Resource Management. *Ecological Applications*, 1: 66-85.

- KASTHURI, R., D. KALAIVANI, K. BANUMATHI AND R. SHANMUGAPRIYA, 2007. Evaluation of Water Quality in A. Mettur Area of Perambalur Distric. *Indian J. Environmental Protection*, 27(11):1011-1014.
- KELADA, N. P., 1989. Automated direct measurements of total cyanide species and thiocyanate and their distribution in wastewater and sludge. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 61: 350-356.
- KNOWLES, C. J., 1988. Cyanide utilization and degradation by microorganisms. En: D. Evered and S. Harnett, eds. *Cyanide compounds in biology*. Ciba Found. Symp. 140. John Wiley, Chichester, England. pp 3-15
- KOLKWITZ, R. y M. MARSSON, 1902. Grundzätze für die biologische Beurteilung der Wassers nach seiner Flora und Fauna. *Mitt. Prüfungsanst. Wasserversog. Abwasserreinig*, 1: 33-72.
- KOLKWITZ, R. y M. MARSSON, 1908. Ökologie der tierische Saprobien. *Beitrage. Ver. Dt. Bot. Ges.*, 26: 505-519.
- KOLKWITZ, R. y M. MARSSON, 1909. Ökologie der tierische Saprobien. *Beitrage. Beitrage zur Lehre von der Biologische Gewässerberteitung. Int. Revue. Hydrobiol. Hydrogr.*, 2: 126-152.
- KRIEGER, K. A., 1984. Benthic Macroinvertebrates as indicators of Environmental Degradation in the Southern Nearshore Zone of the Central Basin of Lake Erie. *J. Great Lakes Res.*, 10 (2): 197-209.
- KRYNITSKY, A. J., S. N. WIEMEYER, E. F. HILL, and J.W. CARPENTER, 1986. Analysis of cyanide in whole blood of dosed cathartids. *Environ. Toxicol. Chem.*, 5: 787-789.
- LAMPRECHT, H., 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. TZ-Verl.-Ges. (GTZ) GmbH. Rossdorf. 335 pp.
- LARGE, A.R. G. and G. E. PETTS, 1994. Rehabilitation of river margins. In: Petts, G. E., Calow, P. (Eds). *The Rivers Handbook*, Vol. II, 16. Blackwell Sc. Publ: Oxford, 401-418.
- LASSALETTA, L., H. GARCIA-GOMEZ, B. S. GIMENO, J. V. ROVIRA, 2009. Agriculture-induced increase in nitrate concentrations in stream waters of a large Mediterranean catchment over 25 years (1981-2005). *Science of the Total Environmental* 407: 6034-6043.
- LEDUC, G., R. C. PIERCE, and I. R. McCracken, 1982. The effects of cyanides on aquatic organism with emphasis upon freshwater fishes. Publ. NRCC 19246. *Natl. Res. Counc. Canada*. 139 pp. Available from Publications, NRCC/CNRC, Ottawa, Canada K1A 0R6.
- LENAT, D. R. and M. T. BARBOUR, 1994. Using Benthic Macroinvertebrate Community Structure for Rapid, Cost-Effective, Water Quality Monitoring: Rapid Bioassessment. In: Loeb, S. L. and Spacie, A. (Eds.). *Biological Monitoring of Aquatic Systems*. Lewis. Chelsea, MI. EEUU. Pp 187-215.
- LONGO S., C. MAGNOLIA, V. E. CEBALLOS, H. ZAMORA y G. VÁSQUEZ. 2004. Diversidad, similitud y Carácter bioindicador de los Macroinvertebrados Acuáticos Epicontinentales de tres ecosistemas lóticos en el Piedemonte Llanero. *Unicauca Ciencia* (8): 15-20. ISSN 0122-6037.
- LUNDQUIST, P. y B. SORBO, 1989. Rapid determination of toxic cyanide concentrations in blood. *Clin. Chem.*, 35: 617-619.
- MALDONADO, T., 1972. *Ambiente humano e ideología. Notas para una ecología crítica*. 2 ed. Buenos Aires: Nueva Vision, 166 pp.
- MARGALEF, R., 1968. *Perspectives in Ecological Theory*. The University of Chicago Press. Chicago. 111 pp.
- MARGALEF, R., 1974. *Ecología*. Omega. Barcelona. 951 pp.
- MARGALEF, R., 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- MARQUÉS, M. J., 1998. Consecuencias de una explotación minera de Zn y Pb sobre la taxocenosis de macroinvertebrados bentónicos en los sistemas acuáticos adyacentes. Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral. Madrid.
- MARQUÉS, M. J., E. MARTÍNEZ-CONDE y J. V. ROVIRA, 2001. Los macroinvertebrados como índices de ecosistemas acuáticos contaminados por metales pesados. *Environmental Toxicology and Restoration*, 4 (1): 25-31.
- MARQUÉS, M. J., E. MARTÍNEZ-CONDE and J. V. ROVIRA, 2003. Effects of zinc and lead mining on the benthic macroinvertebrates of a fluvial ecosystem. *Water, Air and Soil Pollut.*, 148: 363-388.
- MARRS, T. C., and B. BALLANTYNE, 1987. Clinical and experimental toxicology of cyanides: an overview. Pages 473-495 in: B. Ballantyne and T.C. Marrs, eds. *Clinical and experimental toxicology of cyanides*. John Wright. Bristol, England. pp. 383-401.
- MASON, C. F., 1981. *Biology of Freshwater Pollution*. Longman. Singapur.
- MATTEUCCI, S. y A. COLMA, 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Serie de biología, monográfica No 22. Secretaria General de la OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D. C. 168pp.
- MEADOWS, D. H., D. L. MEADOWS y J. RANDERS. 1992. Más allá de los límites del crecimiento. Editorial El Pais-Aguilar. Madrid.
- MELO, O., H. MARTINEZ y F. HUERTAS, 1997. Cuantificación de la biodiversidad florística y análisis estructural de ecosistemas tropicales. Buenaventura: Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal, Centro Forestal Tropical, Bajo Calima, 83pp.
- MERCK, 2003. Manual for photometer SQ 118, Method list with measuring range, Spectroquant® Küvettentests, 138 Hazen colour, Merck KGaA, Darmstadt, Germany, pp. 1-28.

- MINISTERIO DE DESARROLLO, 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000. Santa Fé de Bogotá. <http://www.cra.gov.co/portal/www/resources/resol.pdf>
- MLINGI, N., L. BRIMER, M. ABRAHAMSSON and H. ROSLING, 1998. A modified microdiffusion assay with solid-state detection for the determination of total cyanogens (CNp) in cassava flour. Comparison to the method of O'Brien et al., 1991. *Food Chemistry*, 62(2):239-242.
- MOLANO, J., 1954. Limnología colombiana: lagos, lagunas, represas, ríos y quebradas de Colombia. Ministerio de Agricultura, División de Recursos Naturales. Bogotá, Colombia.
- MOLINA V. D., 2001. "Informe Técnico Final: Diversificación del Uso de Tres Tipos de Yuca (Amarga, Armenia y Chile) Producidas en la provincia de Guantáná Mediante el Aprovechamiento de sus Subproductos". Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- MOSQUERA, L., P. CHACON, G. HENRY and G. CHUZEL, 1994. Cassava starch in Northern Cauca, Colombia: Socioeconomic evaluation of its production and commerce. In: *Proceeding cassava flour and starch*. Cali, Colombia.
- MÜLLER Z. O., K. C. CHOU y K. C. NAH, 1975. Cassava as a total substitute for cereal in livestock and poultry rations. In: *Animal Feeds of Tropical and Subtropical Origin Conf. Trop. Prod. Inst. London*. pp 85-95
- MUNROE, E., 1984. Lepidoptera. In: Hurlbert et al. *Aquatic biota of tropical South America. Part I. Arthropoda*. San Diego State University. San Diego, California.
- NARTEY, F., 1968. Studies on cassava *Manihot utilissima* Pohl-1. Cyanogenesis: The biosynthesis of linamarin and lotaustralin in etiolated seedlings. *Phytochemistry* 7(8):1307-1312.
- NARTEY, F., 1978. *Manihot esculenta* (cassava). Cyanogenesis, ultrastructure and seed germination. Munksgaard. Copenhagen. 262 pp.
- NAVARRETE, P., G. NAUNDORF y J. P. PAZ, 1993. Estudio Limnológico del río las Piedras y evaluación ambiental de la subcuena. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 7 (1-2): 33-38.
- NONOMURA, M. y T. HOBBO, 1989. Ion chromatographic determination of cyanide compounds by chloramine-T and conductivity measurement. *J. Chromat.*, 465: 395-401.
- NRC (U.S.): National Research Council. Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems-Science, Technology, and Public Policy, 1992. *Restoration of aquatic ecosystems: science, technology, and public policy*. Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems-Science, Technology, and Public Policy, Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment, and Resources. National Academy Press. Washington, D.C.
- O'BRIEN, G. M., A. J. TAYLOR and N. H. POULTER, 1991. Improved enzymic assay for cyanogens in fresh and processed cassava. *J. Sci. Food Agric.*, 56(3): 277-289.
- OHNO, T., 1989. Spectrophotometric determination of total cyanide in surface waters following ultraviolet induced photodecomposition. *Analyst*, 114: 857-858.
- OKE, O. L., 1978. Problems in the use of cassava as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 3:345-380.
- ORTEGA, C., J. Y., 1998. Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de las aguas negras tratadas a través del sistema de efluentes de oxidación. Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula. Santander, Cúcuta, Colombia.
- PARAENSE, W. L., 1981. Gastropoda. In: Hurlbert, S.H., Rodrigues, G. y Santos, N.D. *Aquatic Biota of Tropical South America, Part. 2: Anarthropoda*. San Diego State University, California, pp. 200-207.
- PAZ, J. M. y A. H. PIAMBA, 2005. Evaluación de Parámetros de Operación para la Generación de Biogás en un Filtro Anaerobio, Proceso de Almidón Agrio de Yuca. Tesis de grado. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil, Programa de Ingeniería Ambiental. Popayán.
- PENNAK, W. R., 1978. *Freshwater invertebrates of the United States*. Wiley & Sons. New York.
- PEREIRA, J. F., D. S. SEIGLER and W. E. SPLITTSTOESSER. 1981. Cyanogenesis in sweet and bitter cultivar of cassava. *Hort Science* 16:776-777
- PÉREZ, G. y G. ROLDÁN, 1978. Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bentónicas del río Rionegro (Antioquia, Colombia). *Actual. Biol.* 7(4): 27-36.
- PÉREZ, N. y A. I. SOLARTE, 2002. Evaluación de la contaminación de la quebrada Abejones generada por los vertimientos de las microempresas del almidón de yuca en la vereda Mandivá del municipio de Santander de Quilichao. Tesis de grado. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Biología. Popayán.
- PIELOU, E. C., 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley, New York.
- PIELOU, E. C., 1977. *Mathematical Ecology*. John Wiley, New York.
- PLAFKIN, J. L., M. T. BARBOUR, K. D. PORTER, S. K. GROSS and R. M. HUGHES, 1989. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Stream and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish*. EPA/440/4-89-001. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Water. Washington, D.C.
- RADA, M., E. PÉREZ y A.J. VALVERDE, 1999. Evaluación de pesticidas órgano fosforado y macroinvertebrados bentónicos en el río Palace. *Unicauca Ciencia*, 4:3-9. Universidad del Cauca. Popayán. Cauca. Colombia.
- RAJAGURU A. S. B., 1975. Problems of HCN in cassava. *Agric Res Sem Series No 75-7 Fac Agric Univ. Sri Lanka*. Paradeniya. 8 pp

- RAMADE, F., 1995. *Éléments d'écologie: écologie appliquée. Action de l'homme sur la biosphère*. 5ème éd. Ediscience, Paris. 632 pp.
- RAMIREZ, B. R., 1995. *Principios y Métodos en Ecología Vegetal*. Material de apoyo al curso básico de Ecología Vegetal realizado en la reserva privada El Tambito-Cauca entre el 19 y 23 de junio de 1995 y organizado por UNICAUCA-CEAD con la colaboración de: SED-ICFES-BID-ACCB-CRC. Editorial Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. 36 pp.
- RAMIREZ, C. J. y V. VELASCO, 2001. Evaluación del efecto generado por el vertimiento de las rallanderías sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y algas periféricas, en la quebrada San Antonio, municipio de la Sierra, Departamento del Cauca. Tesis de grado. Fundación Universitaria de Popayán, Facultad de Ciencias Naturales, Programa de Ecología.
- RAO, P. V. and S. K. HAHN, 1984. Automated enzymatic assay for determining the cyanide content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and cassava products. *J. Sci. Food Agric.*, 35(4): 426-436.
- REINOSO, G., 1998. Estudio de la fauna béntica del río Combeima, Ibagué. Colombia. Memorias XXXIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Universidad del Tolima-Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Ibagué, Colombia.
- RESH, V. H. and J. K. JACKSON, 1993. Rapid Assessment Approaches to Biomonitoring using Benthic Macroinvertebrate. En: D. M. Rosenberg and V. H. Resh (eds.), *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York. pp. 195–233.
- RESH, V. H., R. H. NORRIS and M. T. BARBOUR, 1995. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Austral. J. Ecol.*, 20: 108–121.
- RICHARDSON, R. E., 1928. The Bottom Fauna of the Middle Illinois River, 1913-1925. Its Distribution, Abundance, Valuation, and index Value in the Study of Stream Pollution. *Bull. Ill. St. Nat. His. Surv.*, 17: 387-475.
- RODRÍGUEZ J., O. ROJAS y P. TORRES, 2004. "Extracción de Almidón de Yuca. Manejo Integral y Control de la Contaminación Hídrica". Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia.
- ROGERS, D. J., 1963. Studies on *Manihot esculenta* Crantz and related species. *Bull. Torrey Bot. Club*, 90:43-48.
- ROJAS, O., P. TORRES, D. ALAZARD, J. L. FARINET and DE CARDOZO Z. M.C., 1996. "Cassava Starch Extraction: A Typical Rural Agroindustry with a High Contamination Potential". In: Dufour D., O'Brien G., Best R. *Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development*. CIAT, Cali. Colombia. Chapter 26, p. 223-238.
- ROJAS, O., 1999. Evaluación del comportamiento de tres sistemas de tratamiento anaerobio para la depuración de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- ROLDÁN, G. 1980. Estudios limnológicos de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes, con especial referencia a su fauna de Efemerópteros. *Act. Biol.*, 9 (34): 103-117.
- ROLDÁN, G., 1988. Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN-Colombia. Presencia. Bogotá, Colombia.
- ROLDÁN, G., 1992a. Fundamentos de Limnología neotropical. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- ROLDÁN, G., 1992b. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Dpto. de Antioquia. Fondo FEN. Colombia-Colciencias-Universidad de Antioquia. Bogotá, Colombia. 217 pp.
- ROLDÁN, G., 2003. Bioindicación de la calidad del Agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.
- ROLDÁN, G., J. BUILES, C. M. TRUJILLO y A. SUAREZ 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. *Act. Biol.* 2(5): 54-64
- ROVIRA, J. V., 1991. Contaminación por metales pesados en los sedimentos del Río Jarama y su bioasimilación por tubificidos (Annelida: Oligochaeta, Tubificidae). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. 358 pp.
- SAKA, J. D. K., A. R. K. MHONE and L. BRIMER, 1998. An improved microdiffusion method with solid-phase detection for the determination of total cyanogens in fresh cassava. Comparison to the method of Cooke (*J. Food Sci. Agric.*, 1978, 29, 345). *J. Sci. Food Agric.*, 76(3): 334-340.
- SANCHEZ, T. 2004. Evaluación de 6000 variedades de yuca. Programa de mejoramiento de yuca, CIAT. Cali, Colombia.
- SERNA, M. J. y H., ZAMORA. 2003. Biogeografía y relaciones de similitud entre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales en un transecto Cauca-Meta. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 16 (1): 71 – 79. ISSN 0120 – 4173.
- SERRES, H. and J. P. TILLON, 1973. Cassava in swine nutrition. I. Possibilities and limitations of its use]. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.* 26(2): 225-228
- SHANNON, C.E. and W. WEAVER, 1949. *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press, Urbana, USA.
- SHEEHAN, P. J. and R.W. WINNER, 1984. Comparison Gradient of Studies in Heavy-Metal Polluted Streams. In: Sheehan, P. J.; Miller, D. R.; Butler, G. C. and Bourdeau, P., eds. *Effects of pollutants at the Ecosystem Level*. Chichester. England. pp. 255-271.

- SHEEHAN, P. J., D. R. MILLER, G. C. BUTLER and P. BOURDEAU, 1984. Effects of pollutants at the Ecosystem Level. Chichester. England.
- SIMONIC, L. and W. J. SNODGRASS, 1985. Natural removal of cyanides in gold milling effluents-evaluation of removal Kinetics. *Water Pollut. Res. J. Can.*, 20: 120-135.
- SIMPSON, E. H., 1949. Measurement of Diversity. *Nature*, 163 (4148): 688.
- SPANGLER, P. J., 1981. New and interesting water beetles from Mt. Roraima, Venezuela (Coleoptera: Dytiscidae and Hydrophilidae). *Aquatic Insects*, 3(1): 1-11.
- STARK, B.P. & P. ZWICK, 1989. New species of *Macrogynoplax* from Venezuela and Surinam. *Aquatic Insects* 11 (4): 274-255.
- STATSOFT, 2001. STATISTICA, version 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- SUBRAMANIAN, K. A. and K. G. SIVARAMAKRISHNAN, 2007. *Aquatic Insects for Biomonitoring Freshwater Ecosystems. A Methodology Manual*. Asoka Trust for Research in Ecology and Environment (ATREE), Bangalore, India.
- TEWE, O. O., 1975. Implications on the cyanogenic glucoside fraction of cassava in the growth and reproductive performance of rats and pigs. Thesis Ph D Univ. Ibadan. Ibadan, Nigeria.
- TEWE, O. O., 1992. Detoxification of cassava products and effects of residual toxins on consuming animals. In: *Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding* (D. Machin and S. Nyvold, Ed.). FAO Anim. Prod. Health Paper No 95. Roma. pp 81-98.
- THOMS M. C., WALKER K.F., 1992. Morphological changes along the River Murray, South Australia. En *Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives*, editado por Petts G. E., Carling P.A., Chichester. Wiley: 235-249.
- TORRES, P. y J. RODRÍGUEZ, 2003. "Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio: Influencia del Medio de Soporte". Tesis de grado. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali.
- TOWILL, L. E., J.S. DRURY, B.L. WHITFIELD, E.B. LEWIS, E. L. GALYAN, and A. S. HAMMONS, 1978. Reviews of the environmental effects of pollutants: v. Cyanide. US EPA Rep. 600/1-78-027. 191pp.
- VAN HATTUM, B.; N. M. VAN STRAALLEN and H. A. J. GOVERS, 1996. Trace Metals in Populations of Freshwater Isopods: Influence of biotic and abiotic variables. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 31: 303-318.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINGS, J. R. SEDELL and C. E. CUSHING, 1980. The river continuum concept. *Canad. J. Fish Aquat. Sci.*, 37: 130-137.
- VÁSQUEZ, G., H. ZAMORA y G. NAUNDORF, 1990. Estudio Hidrobiológico del río Cauca, en el sector comprendido entre el embalse La Salvajina y el puente de El Hormiguero. *Novedades Colombianas*. 2: 18-24. Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- VÁSQUEZ, G., H. ZAMORA y G. NAUNDORF, 1996. Caracterización fisicoquímica de Ecosistemas dulceacuícolas del Parque Natural Nacional Isla Gorgona, Departamento del Cauca. *Unicauca Ciencia*, 1: 19-24.
- VÁSQUEZ G., J. F. BLANCO, J. C. RAMÍREZ, A. M. NAVARRETE, J. R. CANTERA y P. N. MONTOYA. 2000. Efecto de las variaciones de caudales sobre las comunidades bénticas de ríos. Determinación del caudal ecológico. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas A. C. C. B.* 12 (1): 38-47.
- VERGARA, U.E., R. del P. GUEVARA, V. VELASCO, X. ARDILA, J. M. LEMOS y M.M. SANCHEZ, 2008. Plan de Inspección, Vigilancia y Control, PIVC para el Subsector Productor de Almidón Agrario de Yuca. Convenio No. 341-08 Corporación Autónoma Regional del Cauca y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Popayán, Colombia.
- VETTER, J., 2000. Plant cyanogenic glycosides. *Toxicol.*, 38(1):11-36.
- WAY, J. L., 1981. Pharmacology aspects of cyanide and its antagonism. In: B. Vennesland, E. E. Conn, C. J. Knowles, J. Westley, and F. Wissing, eds. *Cyanide in biology*. Academic Press. New York, USA. pp. 29-40.
- WAY, J. L., 1984. Cyanide intoxication and its mechanism of antagonism. *Ann. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, 24: 451-481.
- WESTLEY, J. 1988. Mammalian cyanide detoxification with sulphane sulphur. In: D. Evered and S. Harnett, eds. *Cyanide compounds in biology*. Ciba Found. Symp. 140. John Wiley. Chichester, UK. pp. 201-218.
- WINER, H., 1948. *Cybernetics of Control and Communication in the Animal and the Machine*. The M.I.T. Press. Cambridge, MA, USA. pp 10-11, 60-65.
- WETZEL, R. G., 1983. *Limnology*. Second Edition. Saunders College. Philadelphia, USA.
- WOOD, T. J., 1965. The cyanogenic glucoside content of cassava and cassava products. *J. Sci. Food Agric.*, 16(6):300-304.
- WOOD, T. J., 1966. Isolation properties and enzymic breakdown of linamarin from cassava. *J. Sci. Food Agric.*, 17(2):86-90.
- WOODIWI, F. S., 1964. The biological system of stream classification used by Trent River Board. *Chemistry and industry*, 11: 443-447.

- WU, X. Z., M. YAMADA, T. HOBBO and S. SUZUKY, 1989. Uranine sensitized chemiluminescence for alternative determinations of copper (II) and free cyanide by the flow injection method. *Anal. Chem.*, 61: 1505-1510.
- YEOH, H. H., SANCHEZ, T., CARLOS, A. I., 1998. Large scale screening of cyanogenic potential in cassava using the enzyme-based dip-sticks. *International Journal of Food Composition and Analysis* 11: 2-10.
- ZAMBRANO, L., 1998. Metodología para el Estudio de Comunidades Vegetales. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. 50 pp.
- ZAMORA, C. and J. ALBA-TERCEDOR, 1996. Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 15 (3): 332-352.
- ZAMORA, H., 1991. Macroinvertebrados dulceacuólos en los diferentes pisos altitudinales del Dpto. del Cauca. I fase Dpto. de Biología, Universidad del Cauca. Universidad del Cauca-Conciencias. Popayán, Colombia.
- ZAMORA, H., 1993. Macroinvertebrados dulceacuólos en los diferentes pisos altitudinales del Dpto. del Cauca. II fase. Dpto. de Biología, Universidad del Cauca. Universidad del Cauca-Conciencias. Popayán, Colombia.
- ZAMORA, H., 1995. Relaciones de similitud entre comunidades de macroinvertebrados dulceacuólos de ecosistemas lóticos ubicados entre la Costa Pacifica Caucana y el Piedemonte Amazónico. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 9 (1-2): 7-21.
- ZAMORA, H., 1996. Aspectos bioecológicos de las comunidades de macroinvertebrados dulceacuólos en el Departamento del Cauca. *Unicauca Ciencia*, 1 (1): 9-11.
- ZAMORA, H., 1997. Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Molino por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica. Resúmenes del III Seminario Nacional de Limnología, Universidad del Cauca – Asociación Colombiana de Limnología A.C.L.-LIMNOS. Popayán, noviembre 12 al 15.
- ZAMORA, H., 1998. Evaluación Rápida de la Calidad ambiental en Ecosistemas lóticos mediante el análisis de sus macroinvertebrados. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 10 (1-2): 22-26.
- ZAMORA, H., 2000. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Unicauca Ciencia*, 4: 47-59.
- ZAMORA, H., 2002. Análisis biogeográfico de los Macroinvertebrados Acuáticos Epicontinentales (MAE) en el Departamento del Cauca. Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 14 (1): 37-64. ISSN 0120 – 4173.
- ZAMORA, H., 2005. El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. En: *Memorias del XXXIV Congreso Nacional de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. Santiago de Cali: 34: 246.
- ZAMORA, H., G. NAUNDORF y L. ZAMBRANO, 1981. Niveles de contaminación en el río Molino con base en sus características fisicoquímicas y biológicas. Departamento de Biología, Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- ZAMORA, H., G. NAUNDORF y L. ZAMBRANO, 1982. Niveles de contaminación del río Ejido con base en sus características fisicoquímicas y biológicas. Departamento de Biología, Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- ZAMORA, H. y E. ROESSLER, 1995. Descripción morfológica y taxonómica de una nueva especie de *Anacroneuria* (Insecta-Plecoptera). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 9 (1-2): 85-91.
- ZAMORA, H. y E. ROESSLER, 1997. Número de estadios nayadales, ciclo biológico y patrón de crecimiento de *Anacroneuria* caucana (Insecta-Plecoptera). *Unicauca Ciencia*, 2: 15-24.
- ZAMORA, H. y H. SARRIA, 2001. Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca, mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. *Unicauca Ciencia*, 6: 21-42.
- ZAMORA-MUÑOZ, C., C. E. SAINZ-CANTERO, A. SÁNCHEZ-ORTEGA and J. ALBA-TERCEDOR, 1995. Are biological indices BMWP an ASPT and their significance regarding water quality seasonally dependent? Factor explaining their variations. *Water Research*, 29: 285-290.
- ZÚÑIGA de CARDOZO, M. C., 1985 Estudio de la Ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de la calidad. *Rev. AINSA*, 8 (2): 91-105.
- ZÚÑIGA de CARDOZO, M. C., A.M. ROJAS y G. CAICEDO, 1994. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del Río Cauca. *Memorias segundo Seminario Nacional de Limnología*. Asociación Colombiana de Limnología. Medellín,
- ZWICK, P., 1973. Die Plecopteren Arten Enderleins (Insect); Revision dertypen. *Annals. Zool.* 30 (16): 471-507.
- ZWICK, P., 1972. Die Plecopteren Pictets und Burmeisters, mit Angaben über weitere Arten (Insecta). *Rev. Suisse Zool.* 78 (58): 1123-1194.

## 8. ANEXO

## 8.1 ANEXO 1: RESULTADOS DE LA ENCUESTA

### 8.1.1 INTRODUCCIÓN

La encuesta estaba diseñada en 3 partes en un cuestionario de 50 preguntas. La primera parte: Características y localización de las rallanderías compuesta de 13 preguntas donde 4 son sobre la localización. La segunda parte: Adopción de tecnologías y cambios en infraestructura compuesta de 7 preguntas donde 4 son sobre el agua utilizada para el proceso. La tercera parte: Manejo o tratamiento de las aguas residuales, compuesta de 30 preguntas donde 8 son sobre la fuente natural que recibe las descargas de aguas residuales y 3 sobre su contribución a la solución de la contaminación (ver formato de la encuesta al final).

El resultado se presenta en 4 Tablas, la primera: Identificación de las rallanderías donde aparecen numeradas desde la 1 hasta 63, teniendo en cuenta primero las rallanderías que vierten sus aguas residuales a la subcuenca del río Quinamayó (hasta la 34) y siguiendo el orden en que contaminan desde la cabecera hasta su desembocadura (de la 35 a la 63 pertenecen a la subcuenca Mondomo-Ovejas). Después se presenta el Nombre de: la rallandería, el propietario y la vereda; localización y distancias a: Panamericana (vía principal en m.) y centros urbanos importantes (Mondomo y Santander en km.). Por último se presenta clasificación por nivel tecnológico y cantidad de Aguas residuales de lavado de raíces y de los canales o tanques de sedimentación.

La segunda: Características del recorrido de las Aguas Residuales donde aparece el número de la rallandería, cantidad de Agua Residual (l/día), Pendiente(%), Recorrido (m.), fuente receptora de Agua Residual, subcuenca o microcuenca y cantidad o caudal que lleva la fuente natural que recibe las aguas residuales (l/s).

La Tercera: Meses de trabajo y fuentes de agua donde aparece en número de la rallandería, meses que no trabaja y en los si lo hace, el agua para el proceso de donde la obtiene y los meses en que hay escasez.

La cuarta: Fauna, clase de aguas residuales y aportes a solución donde aparece el número de la rallandería, fauna que se encontraba cuando no había contaminación en la fuente de agua que recibe aguas residuales, las diferentes clases de estas que son vertidas y cuáles serían sus aportes para dar solución al problema de la contaminación.

El resultado de la encuesta se presenta sintetizado en 13 subtítulos: Niveles Tecnológicos, Situación actual y localización, Microcuencas contaminadas y recorrido de las aguas residuales, Cantidad de aguas residuales, Tiempo de operación y de descanso, Cambios en el sistema de procesamiento, Agua para el procesamiento, Flujo de aguas residuales, H de trabajo, Como vierten sus aguas residuales, Fauna reportada, Otras aguas residuales y Aportes para la solución.

### 8.1.2 NIVELES TECNOLÓGICOS

En la anterior encuesta de 1995 encontraron que de las 102 rallanderías que existían en el municipio de Santander de Quilichao en cuanto al nivel tecnológico de producción 9 de ellas eran de nivel 1 y 2 o nivel bajo; hoy solo existe una que en el momento no está operando en la vereda Alto Paraíso; 7 de

nivel 3 o nivel medio es decir aquellas que tenían tanques de sedimentación y máquinas para lavar, rallar y colar pasaron a tener canales de sedimentación, por lo tanto a nivel 4 o nivel alto. Llama mucho la atención que 2 de las 6 de nivel 5 o nivel alto es decir aquellas que además de tener canales de sedimentación tienen sus máquinas colocadas en posición continua y en gravedad, estén en el momento paradas; 2 de nivel 3 o nivel medio pasaron a ser de nivel 5 o nivel alto (Ver Cuadro 1). En conclusión podemos decir en cuanto al nivel tecnológico de la agroindustria que de las 62 rallanderías existentes en el Municipio de Santander, 29 son de nivel alto, 32 de nivel medio y solo una de nivel bajo que en el momento no está operando (46.8% son de nivel alto y 51.6% de nivel medio).

Nivel Bajo.	Lavado y colado manual.
Nivel Medio	Lavado manual y colado mecánico.
	Lavado y colado mecánico, sedimentación por tanques.
Nivel Alto	Sedimentación por canales.
	Distribución por gravedad y sedimentación por canales.

### 8.1.3 SITUACIÓN ACTUAL Y LOCALIZACIÓN

Muchas de las rallanderías cambiaron de propietario por venta o muerte de los dueños, otras están arrendadas, otras fueron demolidas y algunas están paradas desde hace más de 3 años, solo unas pocas llevan menos de 6 meses paradas. En total se realizaron 65 encuestas de las cuales se descartaron 2 por llevar mucho tiempo cerradas y la 63 por pertenecer al municipio de Buenos Aires (Luis Adelmo Moran). La mayor concentración se presenta en la Agustina con (27 %), Mandivá con (11,3 %), El Llanito con (8 %), Santa Bárbara y el Pedregal con (6,5 %) cada una (Tabla: Identificación de las rallanderías).

En cuanto a la altitud, la rallandería que se encuentra más baja está a 995 msnm en Mandivá y la más alta a 1873 msnm. en Alto Paraíso y la gran mayoría están por debajo de los 1450 msnm. Mondomo es el centro urbano al que más rallanderías están cerca pues a menos de 10 km hay localizadas 85,5 % y 77,4 % están a menos de 3000 m de la carretera Panamericana.

### 8.1.4 MICROCUENCAS CONTAMINADAS Y RECORRIDO DE LAS AGUAS RESIDUALES

De los ríos, quebradas o fuentes receptoras de las aguas residuales de las rallanderías podemos comentar que a La Chapa vierten 21 % de ellas; a La Agustina 9,7 % (afluente de la Chapa), La Cascada (afluente de la Chapa), 6,5 %, a Mandaba 4,8 %, a Abejonales 3,2 %, a Palmarito 3,2 % y que todas éstas quebradas o microcuencas pertenecen a la Cuenca del río Quinamayó. A Tres Quebradas o Santa Clara (afluente del río Mondomo) están vertiendo aguas residuales de 3,2 % rallanderías, a Tiembla 14,5 %, a Mestizal (afluente de Tiembla) 6,5 %, a San Pablo (afluente de Tiembla) y Mondomo 3,2 % cada una; estas quebradas y río pertenecen a la Subcuenca del río Ovejas. Las primeras 34 rallanderías del listado de características del recorrido de las aguas residuales pertenecen a la Cuenca del Quinamayó y las restantes a la Cuenca de Mondomo-Ovejas (Ver Características del Recorrido de las Aguas Residuales).

Igualmente, se pueden caracterizar el caudal de éstas fuentes receptoras de las aguas residuales de las rallerías en 3 categorías:

- 1) Bajo, para caudales mayores o iguales a 2 l/s pero menores o iguales a 107 l/s, en el que se agrupan 38,7 % rallerías;
- 2) Medio, caudales mayores a 107 l/s pero menores o iguales a 604 l/s en el cual están 29 % rallerías;
- 3) Alto, para caudales mayores de 604 l/s pero menores o iguales a 9505 l/s en el que hay 32,3 % rallerías. Es importante anotar que estos caudales varían según el tiempo de lluvia (marzo, abril, mayo, octubre y noviembre) o sequía (junio, julio, agosto y septiembre) donde se reducen drásticamente.

Del recorrido de las aguas residuales podemos decir que solo el 9,7 % rallerías están vertiendo por separado las aguas residuales del lavado de raíces y de los canales de sedimentación a las quebradas, los demás 90,3 % van por una misma acequia o tubería. También podemos caracterizar en 3 categorías este recorrido así:

- 1) Corto, cuando es mayor o igual a 5 m pero menor o igual a 50 m, en el cual hay 33 rallerías;
- 2) Medio, cuando es mayor de 50 m pero menor o igual a 150 m, en el que están 27,4% rallerías;
- 3) Largo, cuando es mayor de 150 m pero menor o igual a 450 m, en el cual hay 19,3 % rallerías.

En cuanto a la pendiente por donde hacen su recorrido las aguas residuales desde las rallerías hasta la fuente receptora, las podemos caracterizar en 3 categorías así:

- 1) Pendiente Alta, aquella que es mayor o igual a 45 % pero menor o igual a 65 %, en la cual se encuentran localizadas el 32,2 % de las rallerías;
- 2) Pendiente Media, la que es mayor del 20 % pero menor del 45 %, en la que están también 20 rallerías;
- 3) Pendiente Baja, aquella que es menor o igual a 20 %, pero mayor o igual a 10 % y en la cual se encuentra el 35,5 % de las rallerías.

### **8.1.5 CANTIDAD DE AGUAS RESIDUALES**

También podemos caracterizar en 3 categorías, la cantidad de aguas residuales en metros cúbicos por día ( $m^3$ /día) que salen de las rallerías así:

- 1) Caudal Alto, cuando es mayor de  $60 m^3$ /día pero menor o igual a  $90 m^3$ /día, de la que hay 32,2 % rallerías;
- 2) Caudal Medio, cuando es mayor de  $30 m^3$  /día pero menor o igual a  $60 m^3$ /día en la que están la mayoría de las rallerías pues se encuentran el 56,5 %;
- 3) Caudal Bajo, cuando es menor o igual de  $30 m^3$ /día pero mayor de  $13 m^3$ /día, en la que se encontraron el 11,3 % de las rallerías.

### **8.1.6 TIEMPO DE OPERACIÓN Y DE DESCANSO**

En total 56 operaban con alguna regularidad pues algunos manifiestan que debido a las intensas lluvias algunas semanas no trabajaban por turbiedad en el agua o porque los tanques de agriar almidón están llenos, ocasión aprovechada para reparar máquinas y hacer adecuaciones en la infraestructura.

La mayoría para en diciembre pues 91,9% lo hacen para darle vacaciones al personal, reparar máquinas y hacer adecuaciones importantes en la infraestructura.

Otra época programada es la semana santa en la cual solo uno trabaja hasta el miércoles. Para 27,4 % estas épocas que no operan son secas y para 32,3 % que son lluviosas, para el resto que ambas se presentan.

Regularmente trabajan de enero a diciembre 56,4 % rallerías, de febrero a diciembre o a octubre 8 % y para 21,9 % los meses son: enero a marzo, mayo a septiembre, julio a septiembre, diciembre a marzo. Solo uno manifestó trabajar regularmente todo el año.

### **8.1.7 CAMBIOS EN EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO**

En cuanto si han realizado algún cambio en su sistema de procesamiento en los últimos 4 años, 53,2 % respondieron sí y 46,8 % que no. Es importante resaltar que 16,1 % rallerías construyeron canales de sedimentación, una actualmente lo está haciendo, 3 colocaron sus máquinas en posición continua y por gravedad, adecuaron su sistema de recolado y de secado, algunas cambiaron sus máquinas y construyeron más tanques de sedimentación o tanques para la mancha.

### **8.1.8 AGUA PARA EL PROCESAMIENTO**

Obtienen el agua para su rallería de sobrante del acueducto de Mondomo 2 y del de La Chapa solo uno, de nacedero y quebrada 4, de solo nacedero 6, de río 2 y de quebradas 75,8 %. Los ríos son el San Francisco y el Gallinazo, las quebradas son: La Agustina (5), La Chapa (4), La Cascada (9), Abejonales (3), Quebrada Grande (2), Tres Quebradas (2), Mestizal (5), Canelos (4), San Pablo (4). Las primeras 5 quebradas vierten sus aguas a la cuenca del río Quinamayó y 37,1 % rallerías toman sus aguas de ellas para su agroindustria; las otras 4 pertenecen a la cuenca del río Ovejas y 24,2 % rallerías toman de aquí sus aguas.

Consideran 17 de los entrevistados que el agua para su agroindustria es abundante (27,4 %), 35 que es regular (56,4 %) y 10 que es escasa (16,2 %). Es escasa el agua para la agroindustria en la época de verano, que para algunos rallereros es de 2 y para otros es hasta de 4 meses. Están de acuerdo 19 que Julio y agosto son estos meses; 18 que son julio, agosto y septiembre; 9 junio, julio y agosto; 6 agosto y septiembre y 3 Junio, julio, agosto y septiembre. De los que se abastecen de la quebrada La Cascada tienen que recurrir a trabajar por turnos porque el agua no alcanza para todos y por el cauce de esta quebrada, cuando pasa por la panamericana no corre nada de agua. Respecto a la calidad del agua, 11 la consideran excelente, 35 buena y 16 regular (25,8%).

### 8.1.9 FLUJOS DE AGUAS RESIDUALES

El flujo de aguas residuales que salen de las rallanderías es de dos clases: uno es el que vierten las máquinas lavadoras de las raíces de yuca y otro es el que vierten los tanques y canales de sedimentación del almidón. En la primera clase podemos distinguir 3 categorías:

- 1) Alta, cuando los flujos son mayores de 1 l/s pero menores o iguales a 1,4 l/s, en el que se encuentran 11,3 % rallanderías;
- 2) Media, cuando el flujo es mayor de 0,5 l/s pero menor o igual a 1, en el que hay 50 % rallanderías, y
- 3) Baja, para flujos menores o iguales a 0,5 l/s pero mayor igual a 0,27 l/s donde se encuentran 37,1 % rallanderías.

Para el flujo que sale de los canales de sedimentación podemos distinguir dos categorías:

- 1) Flujos  $> 1,0$  l/s pero  $\leq 1,7$  l/s, en el que están 22,6 % rallanderías, y
- 2) Flujos  $\leq 1,0$  l/s pero  $\geq 0,68$  l/s, donde hay 24,2 % rallanderías.

Las restantes rallanderías tienen tanques de sedimentación y vierten sus aguas residuales 10 h después de haberlos llenado o en la mayoría de los casos al otro día y puede demorar su evacuación entre 10 o 60 min según el número de tanques a vaciar, en algunos casos estas aguas residuales se pueden juntar con las resultantes del lavado de las raíces de yuca.

Podemos clasificar las rallanderías por el flujo de aguas residuales que salen por día de ellas, en 3 categorías:

- 1) Bajo, si el flujo es menor o igual a  $30 \text{ m}^3$  pero mayor o igual a  $13,3 \text{ m}^3$  en la que están 11,3 % rallanderías;
- 2) Medio, si es mayor de 30 pero menor o igual a  $60 \text{ m}^3$  en las que hay 56,4 % rallanderías;
- 3) Alto, cuando el flujo es mayor de 60 pero menor o igual a  $89,9 \text{ m}^3/\text{día}$  a la que pertenecen 32,3 %.

Hay que anotar que 46 rallanderías no mezclan las aguas residuales de su proceso de extracción de almidón de yuca pero las otras 16 si lo hacen con otras aguas residuales como: de porquerizas, casas y otras rallanderías. En algunos casos se mezclan apenas salen del área construida y en otros unos metros antes de caer a la fuente receptora. Para 43 de los entrevistados manifestaron que los caudales de las fuentes receptoras de las aguas residuales se reducían a más de la mitad en la época de verano pero difieren en los meses pues 16 dicen que son julio y agosto, para 14 son julio, agosto y septiembre; para 4 son junio, julio agosto y septiembre; para 5 son junio, julio, agosto y para 4 que son agosto y septiembre. Otros consideran que las aguas en verano se reducen solo hasta la mitad y están todos de acuerdo que los niveles de caudal de estas fuentes receptoras son más o menos estables en las épocas lluviosas.

### 8.1.10 TIEMPO DE TRABAJO

El tiempo de trabajo va desde 4 a 12 h; se encontraron que 3 rallanderías trabajan 6 h e igual número trabajan 7 h; 8 trabajan 8 h diarias; 32 trabajan 10 h diarias y 14 lo hacen por 9 h.

### 8.1.11 COMO VIERTEN SUS AGUAS RESIDUALES

La conducción de esta agua residual se hace de 4 formas:

- 1) por acequia lo hacen 25 RALL;
- 2) por tubería lo están haciendo 26 RALL;
- 3) por tubería y luego por acequia hasta la fuente receptora lo hacen 7 RALL; y
- 4) por manguera 4 RALL con diámetros de 2,5, 3 y 4 pulgadas.

Los diámetros de tuberías en PVC más usados fueron de: 3, 4, 6 y 8 pulgadas; también se utilizan tuberías de gres y de cemento de 6, 8 y 12 pulgadas.

### 8.1.12 FAUNA REPORTADA

La fauna que habitaba en estas quebradas y ríos receptores de aguas residuales era muy diversa pues había desde bocachico (*Prochilodus reticulatus*), en río Mondomo, Mandivá y Quinamayó; nutria (Mondomo, Tiembla y Mandivá), cangrejo (Mondomo, La Chapa y Mandivá). Las 46 personas que manifestaron saber de las especies que vivían en estos ríos o quebradas nombraron además de las anteriores a: Guabino1 (*Pygidium caliense*); Guabino2 (*Astroblepus grivalvii*); Sardina1 (*Astyanas caucanus*); Sardina2 (*Bryconamericus caucanus*), negro, roño o corroncho (*Chaetostoma leucomelas*), sabaleta (*Brycon henni*), perras de agua, araña acuática, cucaracha de agua, barbudo, rompejigra, rallado, guagua, Bagre sapo (*Pseudopimelodus bufonius*), y picuda (*salminus affinis*). Manifestaron 37 entrevistados que si sabían que en la parte alta de su río o quebrada todavía había peces o animales que habitaban en la zona y el resto que no, o no conocían. A la pregunta de que si conoce otro río o quebrada donde todavía hay peces y otros animales de los que había en la zona respondieron que si 34 y fueron nombrados: Mondomo, Mandivá y La Cascada (por 3 personas cada uno); Ovejas y Tiembla (por 2 personas cada uno); además de: San Pablo, El Alazán, Ayalde, Las Lajas, San Francisco, Salinas, La Chapa, Tres quebradas, Gallinazo, Abejonales, Quebradagrande, San Jerónimo, Cascabel y La Agustina.

### 8.1.13 OTRAS AGUAS RESIDUALES

Cuando se preguntó si otras aguas residuales son arrojadas al río o quebrada receptora, 58 respondieron que si y estas son: de lavado de bauxita (2), de rallandería y casas (21), de rallandería, casas y porquerizas (20), de lavado de fique (2), de casas (7), casas, cocheras, lavado y cambio de aceite de carros (1), rallandería, restaurantes y casas (1), casas y Molino del Cauca (1). Los vertimientos se hacen antes de ellos (11), antes y después de ellos (40) y después de que ellos han vertido (11). Afortunadamente 56 rallanderos recogen la cascarilla de yuca y la están utilizando para abonar plátano, café, frijol y huertas; los otros 6 la vierten a las quebradas.

### 8.1.14 APORTES A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La mayoría de los rallanderos son conscientes de la contaminación que producen y por eso 25 respondieron que aportarían para solucionar el problema de contaminación mano de obra y transporte, 22 que aportarían mano de obra, 6 mano de obra, materiales y transporte, 6 mano de obra

y materiales y 2 mano de obra y terreno. 59 rallanderos están dispuestos a aportar un 10-30 %, mientras que 3 aportarían un 31-50 %.

A la pregunta de que si está dispuesto a colaborar en buscar una solución al problema de la contaminación de su quebrada, río o fuente natural; todos respondieron que si y al preguntarles el porqué las respuestas fueron muy diversas pero en todas estaba presente de que son conscientes de los perjuicios que produce la contaminación para su salud, para las personas que viven aguas abajo, para el futuro de sus hijos, para la recreación y para la vida del río.

## 8.1.15 FORMULARIO DE LA ENCUESTA

### ESTUDIO DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS RALLANDERIAS DEL NORTE DEL CAUCA

Número de Cuestionario \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Nombre del Entrevistador \_\_\_\_\_

#### I. CARACTERISTICAS Y LOCALIZACIÓN DE LAS RALLANDERÍAS

1. Nombre de la rallandería \_\_\_\_\_

2. Nombre del dueño \_\_\_\_\_

3. Vereda \_\_\_\_\_

4. Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_ Altitud \_\_\_\_\_

5. Distancia a Panamericana \_\_\_\_\_ m.

6. Distancia al casco urbano más cercano

Santander \_\_\_\_\_ Mondomo \_\_\_\_\_

7. Nombre de la persona encuestada \_\_\_\_\_

8. La rallandería está operando actualmente SI  NO

9. Si no está operando, por que? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10. Diga los meses en que no opera \_\_\_\_\_

11. Son estos meses secos o lluviosos \_\_\_\_\_

12. Diga los meses en cuáles si trabajan o rallan (no tener en cuenta secado)

\_\_\_\_\_

13. Son estos meses secos o lluviosos \_\_\_\_\_

## II. ADOPCION DE TECNOLOGIAS Y CAMBIOS EN INFRAESTRUCTURA

14. ¿Ha realizado algún cambio en su sistema de procesamiento de almidón en los últimos 4 años?

(tecnología, infraestructura, etc.) SI  NO

15. De dónde obtiene el agua para su rallandería?

Quebrada  Pozo  Río  Acueducto  Nacedero  Otro   
Especifique

---

---

16. El agua para su rallandería es:

Abundante  Regular  Escasa

17. En qué meses es escasa? \_\_\_\_\_

18. La calidad del agua que llega a su rallandería es:

Excelente  Buena  Regular  Mala

19. Ha hecho análisis al agua SI  NO

Resultadosobtenidos \_\_\_\_\_

---

---

20. En qué nivel tecnológico se encuentra su rallandería

Alto  Medio  Bajo

## III. MANEJO O TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

21. Qué cantidad de aguas residuales (A.R.) sale de la rallandería

\_\_\_\_\_ l/s.

22. Durante cuántas horas al día

---

23. Se mezclan las aguas resultantes del lavado de las raíces con las de los tanques de sedimentación o canales de sedimentación. Si se vierten por separado medir caudal y distancia.

---

---

24. Se mezclan las aguas residuales (A.R.) de la rallandería con otras aguas residuales

SI  NO

25. Qué clase de aguas residuales son \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

26. Se puede medir la cantidad de aguas residuales que se le mezclen a las de las rallanderías

SI  NO

Cuántos l/s \_\_\_\_\_

27. Cuántas horas al día sucede esta mezcla \_\_\_\_\_

Período (meses del año) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

28. En qué sitio se mezclan las A.R. (precisar)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

29. El recorrido de las A.R. desde la rallandería hasta el río, quebrada o fuente natural se hace por:

Tubería  Acequia  Otro

Especificar \_\_\_\_\_

30. El recorrido de las A.R. se hace por terreno con:

Pendiente alta  Pendiente media  Pendiente baja  Llano o plano

31. Se puede precisar esta pendiente. ¿Cuál sería?

32. Precisar longitud de este recorrido \_\_\_\_\_ mts.

33. Le hace algún tratamiento al agua residual antes de tirarla al río, quebrada o fuente natural? SI  NO

34. ¿Cómo lo hace? (Explicar brevemente) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

35. Cómo se llama la quebrada, río o fuente natural donde van a parar las A.R.

\_\_\_\_\_

36. A qué otra quebrada o río desemboca la quebrada o río que recibió las aguas residuales de las rallanderías \_\_\_\_\_

37. Qué cantidad de agua lleva el río o quebrada en el sitio donde le cae las A.R.

Precisar \_\_\_\_ l/s.

38. El agua de la quebrada o río se reduce

Meses

Bastante (más de la mitad) \_\_\_\_\_

Más o menos (la mitad) \_\_\_\_\_

Casi nada o muy poco \_\_\_\_\_

39. Sabe Ud. qué peces u otros animales vivían antes en esta quebrada o río?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

40. Sabe usted si en la parte alta de este río o quebrada todavía hay peces o animales que habitaban en esta zona

SI  NO  NO CONOCE

41. Conoce otro río o quebrada cercana donde todavía hay peces y animales de los mismos que había en esta zona.

SI  NO

42. ¿Cómo se llama y qué tan lejos está?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

43. Sabe usted si otras A.R. son arrojados a este río o quebrada

SI  NO

44. Qué clase de A.R. son?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

45. Son vertidos antes o después de las suyas? (Describir detalladamente)

---

---

---

---

46. La cascarilla de yuca y otras basuras que salen de las rallanderías, ¿Que hace usted con ellas? \_\_\_\_\_

---

---

47. Está dispuesto a colaborar en la solución de la contaminación de su quebrada, río o fuente de agua natural

SI  NO

48. ¿Por qué? \_\_\_\_\_

---

---

49. ¿Qué aportaría usted para solucionar el problema de contaminación de su quebrada, río o fuente natural?

---

---

---

---

50. Su aporte sería entre:

10% y 30%  31% y 50%  51% y 70%  Más del 70%

## 8.1.16 TABLAS DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA

### *Identificación de las Rallanderías (RALL)*

No.	RALL	Propietario	Vereda	LATITUD			LONGITUD			Altitud (msnm)	DISTANCIAS			NT	AR	
				grados	min	s	grados	min	s		Panamericana (m)	Santander (km)	Mondomo (km)		Raíces (l/s)	Sedim. (l/s)
1	Los Grijalba	Carlos Grijalba	La Chapa	2	54	53	76	33	43	1604	3000	19	4	2	0,35	6,57
2	Brasilia	E. Gentil Mosquera	La Agustina	2	55	6	76	33	18	1454	450	13,95	2,95	2	0,9	10,80
3	El Carmen	Rosalba Betancurt-	La Agustina	2	54	54	76	33	4	1365	150	13,65	2,5	1	0,59	1,74
4	Villa Julieta	Gerardo Antonio	La Agustina	2	54	58	76	33	2	1363	200	13,7	2,58	1	0,53	0,95
5		Omar Trujillo	La Agustina	2	55	9	76	33	8	1384	250	13,55	2,95	2	0,56	9,54
6		E. Carvajal Trujillo	La Agustina	2	55	9	76	33	7	1360	50	13,55	2,55	1	0,64	1,20
7	SDT Agroindustrial	Martín Moreno-	La Agustina	2	55	7	76	32	50	1340	150	13,3	2,7	1	1,1	1,29
8	Belalcázar	Nora Alicia Paz	La Agustina	2	55	10	76	33	0	1345	50	13,5	2,6	2	0,47	14,49
9	El Oasis	Gustavo Eduardo	La Agustina	2	55	6	76	32	57	1348	100	13,6	2,5	1	0,87	1,50
10	Skivenson	Alveiro Alex Daza	La Agustina	2	55	6	76	32	54	1347	120	13,62	2,5	2	0,56	12,60
11		Alveiro López		2	55	14	76	33	8	1374	170	13,68	2,7	2	0,68	8,37
12	El Diviso	R. López Medina	La Agustina	2	55	14	76	33	5	1370	150	13,65	2,65	2	0,79	9,42
13	LA Cascada	C. y H. León	La Agustina	2	55	11	76	32	56	1337	30	13,1	2,9	2	0,67	8,46
14	El Porvenir	Jorge Portilla	La Agustina	2	55	20	76	32	47	1335	15	13	3	2	0,7	9,90
15	Villa Griselda	Manuel Jiménez	La Agustina	2	55	25	76	32	40	1322	10	12,8	3,2	1	1,3	1,47
16	Buenos Aires	Manuel Jiménez	La Agustina	2	55	29	76	32	35	1318	10	12,7	3,3	1	1,71	1,80
17		Luis H. Cifuentes	La Agustina	2	55	36	76	32	36	1280	100	12,6	3,4	2	0,54	8,73
18	Piedras Negras	Jorge Irne Silva	La Agustina	2	55	38	76	32	31	1260	80	12,5	3,5	2	0,3	7,91
19	El Paraíso	Manuel Jiménez	Cachimbal	2	55	43	76	32	24	1245	20	12,2	3,8	1	1,2	1,40
20	Lozada	J. y G. Lozada	Cachimbal	2	55	45	76	32	29	1251	60	12,06	4	2	0,52	8,64
21	La Portada	O. López Carmona	Cachimbal	2	56	1	76	32	2	1200	10	11,6	4,4	2	1,25	17,00
22	Agroindustrial del Pacífico	Oscar Cruz, Julio	Alto abejonales	2	56	1	76	31	23	1140	2500	13,7	7,3	1	0,42	1,05

No.	RALL	Propietario	Vereda	LATITUD			LONGITUD			Altitud (msnm)	DISTANCIAS			NT	AR	
				grados	min	s	grados	min	s		Panamericana (m)	Santander (km)	Mondomo (km)		Raíces (l/s)	Sedim. (l/s)
23		Rosa Quiguanas-	Abejonales	2	56	24	76	31	55	1125	30	10,2	5,8	1	0,5	0,90
24	Camavi	Mario Vidal	Mandiva	2	56	29	76	31	51	1120	30	9,6	6,4	1	0,69	1,13
25	La María	J. Ferney Quiguanas	Mandiva	2	56	33	76	31	52	1112	10	9,4	6,6	1	0,89	1,04
26	La Esmeralda	C. Quiguanas	Mandiva	2	56	36	76	31	53	1110	10	9,2	6,8	1	0,79	1,10
27	Mandivá	Carlos Hurtado	Mandiva	2	56	51	76	32	1	1100	150	8,55	7,75	1	0,74	1,20
28	El Limonar	Eleuterio Hurtado	Mandiva	2	57	1	76	32	2	1102	100	8,5	7,7	1	0,62	1,10
29		Jorge Castro Ussa	Mandiva	2	57	7	76	31	58	1105	70	8,47	7,67	1	0,27	1,25
30		Enrique Zapata	Mandiva	2	57	6	76	31	54	1113	50	8,2	7,8	1	0,53	1,30
31		Orlando Quiguanas	Dominguillo	2	57	51	76	29	28	1099	4300	6,5	18,1	2	0,9	9,90
32	Unión Comunitaria	Grupo Unión	San Antonio	3	1	7	76	31	19	1045	5600	5,6	22,6	1	0,5	0,90
33		Oneas Toconas	Alto Paraíso	2	57	37	76	33	45	1636	11000	19,4	18,6	3	0,15	2,43
34		Carlos Güetia	Alto Paraíso	2	57	23	76	33	40	1773	9300	17,7	18,9	2	0,37	5,49
35	Las Pilas	Carmen Campo de	California o	2	54	58	76	28	8	1528	17800	33,3	18,3	1	0,41	0,95
36		Alveiro Vidal	Tres Quebradas	2	53	27	76	29	15	1483	9000	24,5	9,5	2	0,32	8,01
37	EL Bosque	Celio Prieto Benachí	Nueva Colombia	2	53	13	76	29	41	1476	8000	23,3	8,5	1	1,1	1,30
38	Villa Marly	E. Antonio Ortega	Mondomito	2	53	51	76	31	57	1405	4000	20	3	2	0,24	5,07
39	Mestizal	Lisandro Somera-	El Llanito	2	54	39	76	33	4	1380	100	15,1	1,1	2	0,41	3,69
40		Miller Soto	El Llanito	2	54	33	76	33	4	1378	150	15,25	1,15	2	0,52	8,19
41		Rafael Alquichire	El Llanito	2	54	28	76	33	6	1380	160	15,26	1,16	2	0,46	8,01
42		Carlos Daza	El Llanito	2	54	21	76	33	4	1362	150	15,35	1,15	1	0,62	1,21
43		Ferney Daza Zúñiga	El Llanito	2	54	16	76	33	3	1360	100	15	1,1	1	0,52	1,13
44	Marsella	J. Daniel Mosquera	Mondomo	2	54	5	76	33	6	1370	300	16,3	0,8	2	0,5	10,26
45	Santa Bárbara	H. Vergara Sarria	Santa Bárbara	2	53	50	76	33	30	1346	1200	17,2	1,2	1	0,58	1,31
46	El Porvenir	Aura Elisa Muñoz	Santa Bárbara	2	53	49	76	33	31	1348	1000	17	1	2	0,39	8,28

No.	RALL	Propietario	Vereda	LATITUD		LONGITUD			Altitud (msnm)	DISTANCIAS			NT	AR		
				grados	min	s	grados	min		s	Panamericana (m)	Santander (km)		Mondomo (km)	Raíces (l/s)	Sedim. (l/s)
47		Jaime Sanchez	Santa Bárbara	2	53	42	76	33	31	1344	900	17,1	0,9	2	0,3	5,76
48		Eivar Velasco	Santa Bárbara	2	54	4	76	33	44	1375	1900	17,9	1,9	1	1,8	1,26
49		Agustín Ararat	Mondomo	2	53	30	76	33	27	1360	500	16	0,5	1	0,98	1,17
50		Luz Mª y J. Fabio	La Alita	2	53	45	76	34	3	1375	1500	17,5	1,5	1	0,61	1,11
51	San Pablo	Hilda Salazar	San Pablo	2	53	25	76	33	51	1331	1400	17,4	1,4	1	2,11	4,23
52		Néstor Hernández	San Pablo	2	53	30	76	33	50	1335	1500	17,5	1,5	2	0,42	7,83
53	El Porvenir	Oswaldo Mosquera	El Pedregal	2	53	19	76	33	59	1338	1600	17,6	1,6	1	1,12	1,40
54	El Pedregal	N. Enrique Castillo	El Pedregal	2	53	22	76	34	1	1340	1700	17,7	1,7	2	0,6	7,92
55	La Bocatoma	Hernando Ángel	El Pedregal	2	53	1	76	34	0	1294	2100	18,1	2,1	2	0,62	9,63
56	El Pedregal	Octavio Medina	El Pedregal	2	52	44	76	34	25	1201	3500	19,5	3,5	1	1,52	2,71
57		Carlos Manuel	Cascajal	2	53	30	76	34	39	1449	3000	19	3	2	0,31	9,38
58	El Amparo	Amparo Lizcano	María Auxiliadora	2	52	57	76	35	47	1507	7900	23,9	7,9	2	0,51	10,17
59	Grano de oro	José Jair Lizcano	San Isidro	2	52	53	76	35	47	1460	7800	23,8	7,8	2	0,52	13,32
60	El Arroyito	Javier Viveros	Las Lajas	2	53	6	76	36	21	1621	11200	27,2	11,2	2	0,51	6,57
61	La Hormiga	Sucesores Aquilino	Las Lajas	2	52	54	76	36	19	1559	11100	27,1	11,1	2	0,4	7,11
62	La Sultana	Tito Quintana	Los Linderos	2	53	10	76	36	40	1568	12800	28,8	12,8	2	0,71	8,28
63	La Esmeralda	Luis Adelmo Moran	La Esmeralda								15600	31,6	15,6	2	1,06	11,07

### **Características del recorrido de las aguas residuales (AR)**

<b>RALL</b>	<b>Caudal AR (l/día)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Recorrido (m)</b>	<b>Quebrada receptora</b>	<b>Subcuenca/microcuenca</b>	<b>Caudal quebrada (l/s)</b>
1	32472	47	18	cañada sin nombre	La Chapa a 2 km.	2
2	61560	36	450	La Chapa	Mandivá	365
3	67166	45	53	La Chapa	Mandivá-Quinamayó	364
4	44136	53	169	La Chapa	Mandivá	365
5	48456	60	81	La Agustina	Chapa, Mandivá	78
6	55008	45	15	La Agustina	Chapa, Mandivá	78
7	69516	43	45	La Agustina	Chapa, Mandivá	137
8	64008	42	60	La Agustina	Chapa, Mandivá	137
9	70524	43	70	La Agustina	Chapa, Mandivá	137
10	38016	38	103	La Agustina	Chapa, Mandivá	137
11	47268	25	20	La Cascada	Chapa, Mandivá.	52
12	49252	36	66	La Cascada	Chapa, Mandivá.	52
13	47340	51	30	La Cascada	Chapa, Mandivá, Quinamayó	52
14	53280	52	310	La Cascada	La Chapa , Mandivá	52
15	80388	58	280	La Chapa	Mandivá	895
16	75763	52	444	La Chapa	Mandivá	1037
17	45036	38	300	La Chapa	Mandivá, Quinamayó	895
18	33497	24	150	Quimbas, La Chapa.	Mandivá, Quinamayó	91
19	75600	63	330	La Chapa	Mandivá	1042
20	44208	63	360	La Chapa	Mandivá	1042

<b>RALL</b>	<b>Caudal AR (l/día)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Recorrido (m)</b>	<b>Quebrada receptora</b>	<b>Subcuenca/microcuenca</b>	<b>Caudal quebrada (l/s)</b>
21	81597	52	98	La Chapa	Mandivá	1042
22	44604	25	52	Mandivá	Rio Mandivá	1058
23	41760	25	17	Abejonales	La Chapa, Mandivá	579
24	54000	41	7	Abejonales	La Chapa, Mandivá, Quinamayó	579
25	50820	51	15	La Chapa cuando Abejonales ya le ha caído	Mandivá, Quinamayó	1757
26	55548	17	25	La Chapa	Mandivá	1757
27	57528	10	48	Mandivá	Quinamayó	3822
28	51264	16	30	Palmarito	Mandivá	160
29	47304	18	50	Palmarito	Mandivá	160
30	55476	14	95	Mandivá	Quinamayó	3822
31	58320	10	5	No tiene nombre	Quinamayó	11
32	41760	15	5	cañada sin nombre luego a 1550 m al Quinamayó	Quinamayó a 1550 m.	7
33	12528	23	12	no tiene nombre	San Francisco	49
34	29088	32	40	no sabe	Salinas, Mandivá	17
35	41112	38	20	California	Tres Quebradas, Mondomo	26
36	36900	17	32	Tres Quebradas o Santa Clara	Mondomo	604
37	69840	10	7	Sta. Clara o Tres Quebradas	Agua Sucia, Agua Blanca,	604
38	24261	16	88	Tiembra	San Pablo, Mondomo	98
39	41112	25	9	Mestizal afluente de Tiembra	Tiembra, San Pablo, Mondomo	24
40	42588	10	7	Mestizal	Tiembra	24
41	40428	36	40	Mestizal	Tiembra, Mondomo	24
42	54828	15	17	Mestizal	Tiembra, Mondomo	69

<b>RALL</b>	<b>Caudal AR (l/día)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Recorrido (m)</b>	<b>Quebrada receptora</b>	<b>Subcuenca/microcuenca</b>	<b>Caudal quebrada (l/s)</b>
43	47106	15	57	Tiembra	Mondomo	182
44	49536	25	368	Tiembra	Mondomo	266
45	57060	10	21	Tiembra	Mondomo	814
46	32025	12	11	Tiembra	Mondomo	814
47	28296	10	20	Tiembra	Mondomo	814
48	86184	13	41	Santa Bárbara	Tiembra, Mondomo	216
49	62604	50	99	sin nombre	Tiembra, Mondomo	40
50	51336	60	300	Tiembra a 300 m	San Pablo, Mondomo	1029
51	65972	15	11	Tiembra	Mondomo	624
52	38768	46	30	Tiembra	San Pablo, Mondomo	624
53	73584	16	20	San Pablo	Mondomo, Ovejas	373
54	43632	12	50	San Pablo	Mondomo, Ovejas	373
55	50292	18	43	Mondomo	Ovejas, Cauca	9505
56	87710	20	131	Mondomo	Ovejas, Cauca	9505
57	41462	47	400	Vergara	Mondomo	40
58	49464	38	68	Monte Grande o Cañada Honda nace a 400 m	Ovejas, Cauca	15
59	61056	55	8	Cañada Honda	Ovejas	15
60	36504	36	150	quebrada San Antonio que nace a 500 m	Las Lajas, Ovejas	4
61	35676	65	168	Los Linderos	Ovejas, Cauca	30
62	47700	61	67	La Mina	Los Linderos, Ovejas	20
63	66564	52	171	Mata de guadua	Ovejas, Cauca	22



### ***Número Meses que no trabaja***

19 20 diciembre a 15 enero  
20 15 diciembre a 15 enero  
21 diciembre , enero  
22 No trabaja regularmente  
23 diciembre y Junio  
24 15 diciembre a 20 enero  
25 20 diciembre a 7 enero, octubre.  
26 15 diciembre a 20 enero  
27 15 diciembre al 20 enero  
28 noviembre,diciembre,enero  
29 15 diciembre al 15 enero  
30 Enero, febrero  
31 15 diciembre al 10 enero  
32 15 diciembre a 15 enero  
33 15 diciembre al 20 enero  
34 20diciembre al 20 enero,época lluviosa  
35 marzo a junio,octubre,noviembre.  
36 abril,mayo,octubre,noviembre,diciembre.  
37 15 diciembre a 15 enero,abril y octubre por lluvia  
38 diciembre y enero  
39 15 diciembre a 15 enero,abril,octubre

### ***Meses que trabaja***

enero a diciembre  
enero a diciembre  
febrero a noviembre  
  
enero a mayo, julio a noviembre  
enero a diciembre  
enero a sept.,noviembre y diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
febrero a octubre  
enero a diciembre  
febrero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre si hay yuca  
enero a marzo,junio a sept,  
diciembre a marzo, julio a sept.  
junio a septiembre,enero a marzo  
enero a marzo, mayo a sept. Noviembre y diciembre  
febrero a diciembre  
enero a marzo , mayo a sept,nov y diciembre.

### ***Agua para el proceso***

Quimbas  
Abejonales a 1500 m.  
Cuaresma a 2500 m.  
Mandiva 500 m.  
Abejonales a 1000 m.  
Guavito o San José  
Guamo  
Guavito a 1000  
Grande  
  
A 700 mts.  
Grande a 1300 m.  
Gallinazo  
Garrapatero a 2070 m.  
San Francisco a 300 m.  
  
a 100 m  
Tres Quebradas  
a 60 m. manguera de 1.5 pulg.  
Tambien de nacedero a 50  
Mestizal a 400 m.

### ***Meses de escasez agua***

julio,agosto, sept  
Estable  
junio,julio,agosto  
agosto, septiembre  
julio,agosto, septie  
julio, agosto, septi  
julio, agosto, sept  
julio, agosto, septi  
julio, agosto, septi  
julio, agosto  
estable  
julio, agosto, sept  
no  
julio agosto,sept  
estable  
julio agosto,septiem  
agosto, sept  
agosto  
julio,agosto,sept.  
julio y agosto  
junio, julio, agosto

### ***Número Meses que no trabaja***

40 15 diciembre a 15 enero  
41 20 diciembre al 20 enero, abril, octubre  
42 15 diciembre a 15 enero  
43 15 diciembre al 8 enero  
44 15 diciembre a 15 enero  
45 10 diciembre al 15 enero  
46 diciembre, mayo y octubre  
47 15 diciembre a 15 enero  
48 12 diciembre a 15 enero, abril  
49 15 diciembre al 15 enero  
50 20 diciembre al 15 enero  
51 diciembre, enero, agosto  
52 20 diciembre a 12 enero  
53 15 diciembre a 15 enero  
54 15 diciembre a 12 enero  
55 15 diciembre a 15 enero  
56 20 diciembre a 10 enero  
57 18 diciembre a 20 enero  
58 5 diciembre a 10 enero  
59 15 diciembre a 15 enero, abril  
60 15 diciembre a 15 enero

### ***Meses que trabaja***

enero a diciembre  
enero a marzo, mayo a sept, noviembre y diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a abril, junio a sept, noviembre.  
enero a diciembre si hay capital (6 meses aprox.)  
enero a marzo y de mayo a diciembre.  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
febrero a julio, septiembre a diciembre  
diciembre a enero  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a diciembre  
enero a marzo, mayo a diciembre  
enero a diciembre

### ***Agua para el proceso***

Mestizal  
Mestizal donde nace  
Mestizal a 600 m.  
Mestizal  
parte de un nacedero y parte de quebrada  
Sta Bárbara a 1200 m. Los Canelos a 1300  
a 50 m.  
Sta Bárbara a 1.4 km.  
Sta Bárbara a 600 m.  
sobrante del acueducto a 2550 m.  
Sta Bárbara a 1500 m.  
  
San Pablo a 300 m., nacedero a 70 m.  
  
San Pablo  
vereda El Tablón otro lado del río a 500  
Ayalde a 200 m.  
sobrante de quebrada de acueducto Mondom  
La Soledad a 700 m.  
La Chamba  
Las Lajas a 800 m.

### ***Meses de escasez agua***

julio, agosto, sept.  
junio, julio, agosto  
julio, agosto  
julio, agosto  
julio, agosto  
julio, agosto, sept  
julio, agosto  
julio, agosto, sept  
No  
agosto, septiembre  
no  
julio, agosto  
julio, agosto  
julio, agosto  
agosto y septiembre  
junio, julio, agosto  
julio, agosto, sept.  
junio, julio, agosto  
julio, agosto  
julio, agosto

## **Fauna, tipos de aguas residuales y soluciones aportadas**

### ***Fauna, clase de aguas residuales y aportes a solución***

#### ***Número Fauna de fuente receptora***

- 1 no porque solo es sobrante del acueducto
- 2 cangrejo, negro, guabino
- 3 Negro, sardina, guabino, roño
- 4 no sabe
- 5 negro, guabino, sabaleta.
- 6 No
- 7 No
- 8 guabinos, negros, sabaleta, sardinas, corroncho
- 9 negro, guabino, sardinas, sabaleta
- 10 guabino, negro, sabaleta, corroncho
- 11 sardina, negro, guabino, cangrejos, cucarachas, arañas, roño.
- 12 sardina, negro, guabino, cangrejos, arañas, roños, cucarachas
- 13 negro, sardinas, guabinios, cangrejos.
- 14 No
- 15 sabaleta, negro, corroncho.
- 16 sabaleta, guabino, negro, sardina.
- 17 sabaleta, guabino, negro, sardina
- 18 negro, sabaleta, corroncho.
- 19 sabaleta, guabino, negro, sardina.
- 20 sabaleta, negro
- 21 sabaleta, negro, guabino.

#### ***Clase de aguas residuales***

- de 3 casas
- rallanderías, porquerizas, casas
- rallanderías, casas, porquerizas
- rallanderías, porquerizas y de las casas.
- rallanderías, casas.
- rallanderías, aguas negras.
- rallanderías, aguas negras, porquerizas
- aguas de las casas
- rallanderías, aguas negras, porquerizas
- rallanderías y casas.
- rallandería y casas
- rallandería de Hardy y aguas negras de casas.
- rallanderías y de las casas (Alveiro y Reinel)
- rallanderías, aguas negras y porquerizas.
- rallanderías, casas, porquerizas.
- rallanderías, casas, porquerizas.
- rallanderías, casas, porquerizas.
- rallanderías, casas, porquerizas.
- rallanderías, casas, porquerizas.
- rallanderías, porquerizas, aguas negras
- rallanderías, casas

#### ***Aportes a solución***

- mano de obra y materiales de la finca
- mano de obra, transporte.
- Mano de obra y transporte
- mano de obra.
- Mano de obra.
- Mano de obra.
- investigación, construcción de prototipos, mano de obra y transporte
- mano de obra, materiales
- Mano de obra, materiales y transporte
- mano de obra
- mano de obra y transporte
- mano de obra
- mano de obra, transporte
- Mano de obra
- Mano de obra
- Mano de obra, materiales, transporte
- Mano de obra
- ideas y mano de obra
- mano de obra, materiales, transporte.
- mano de obra
- mano de obra

### *Número Fauna de fuente receptora*

- 22 sabaleta, negro, guabino, cangrejo
- 23 No
- 24 sabaleta, negro
- 25 sabaleta, guabino, negro.
- 26 sabaleta, negro, guabino
- 27 sardinas, cangrejos
- 28 No
- 29 guabinos
- 30 sabaleta, guabino, sardina
- 31 bocachico, roño, nutria, rallado, perras, guagua, guabinos y sardinas
- 32 bocachico, barbudo, bagre, sabaleta, roño, picuda
- 33 sardinas, negros
- 34 negro, guabino
- 35 No
- 36 guabino y sabaleta
- 37 bocachico, negro, guabino, sardinas . En la parte baja
- 38 guabino
- 39 no sabe
- 40 guabino, sardinas
- 41 no sabe
- 42 sardinas, guabinos
- 43 guabinos, negros, sardinas
- 44 sabaleta, sardina, negro, cucaracha , nutria
- 45 sabaleta, sardina, guabino, roño, cangrejos

### *Clase de aguas residuales*

- casas
- rallandería, porqueriza
- rallanderías, casas
- rallanderías, casas
- rallanderías, casas y porquerizas
- rallanderías, restaurantes, casas
- aguas negras
- rallanderías, casas
- rallanderías y casas
- de las casas.
- aguas de Molinos del Cauca y aguas negras
- aguas de lavado de fique
- aguas de lavado del fique
- 1 rallandería y casas de Tres Quebradas.
- rallanderías, casas, porquerizas
- rallanderías y de las casas
- rallanderías, casas, porquerizas
- rallanderías, casas, porqueriza
- rallanderías y casas.
- aguas negras del Llanito
- casas, porquerizas, lavado y aceite de carros
- rallanderías, aguas negras.

### *Aportes a solución*

- mano de obra
- mano de obra
- mano de obra, transporte
- mano de obra, transporte
- mano de obra, transporte
- mano de obra
- mano de obra y terreno
- mano de obra, transporte
- mano de obra, transporte
- mano de obra
- mano de obra
- mano de obra, materiales.
- mano de obra
- mano de obra, materiales o transporte
- Mano de obra, transporte
- mano de obra
- mano de obra, transporte
- mano de obra
- mano de obra y transporte
- mano de obra y transporte
- mano de obra y lo que se pueda aportar de la finca, transporte.
- mano de obra y transporte.

### *Número Fauna de fuente receptora*

46 No  
47 guabinos,sardinas,negros  
48 No sabe  
49 no  
50 guabino,negro,corroncho,sardina  
51 guabino,negro,sabaleta  
52 no  
53 no  
54 no  
55 no  
56 corroncho,guabino,sardina,sabaleta,picuda  
57 no  
58 guabinos,cangrejos,negros,perras de agua.  
59 guabinos, cangrejos  
60 sardinas,guabinos,negros,cangrejos,araña acuatica  
61 guabino,negro, cangrejo  
62 negro,guabino  
63 guabino,sardinas

### *Clase de aguas residuales*

de las rallanderias y de las casas  
rallanderias, aguas negras de casas y porquerizas  
aguas negras de 1 casa  
aguas negras  
rallanderias, casas , porquerizas  
rallanderias,casas, porquerizas  
rallanderias,casas, porquerizas  
1 rallanderia y de casas  
1 rallanderia , casas.  
rallanderias y casas  
rallannderias,casas y porquerizas  
  
rallandería de Jair Lizcano  
1 rallanderia , casas  
  
del lavado de la bauxita  
las de la bauxita  
del lavado de la bauxita

### *Aportes a solución*

mano de obra y transporte.  
mano de obra y transporte  
mano de obra y transporte  
mano de obra , transporte  
mano de obra  
mano de obra ,materiales  
mano de obra,transporte  
mano de obra , transporte  
mano de obra,materiales del río  
mano de obra, transporte  
mano de obra,material de rio y transporte  
mano de obra y transporte  
mano de obra  
mano de obra y transporte  
mano de obra  
transporte , mano de obra  
terreno,mano de obra,transporte  
mano de obra

## 8.2 ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS QUEBRADAS LA CHAPA Y TIEMBLA

### 8.2.1 ESTUDIO DEL ENTORNO

Las colinas delimitan la extensión de una cuenca y separan una cuenca de otra. Los movimientos del agua y de los elementos por la cuenca unen varios componentes del sistema orgánicos e inorgánicos, terrestres y acuáticos, plantas y suelos, atmósfera, vegetación y agua (Hornung y Reynolds, 1995)

Las particularidades del entorno también tienden a gobernar los movimientos del agua en la cuenca. Muchos tipos de arroyos o quebradas derivan un porcentaje considerable de su energía de la materia orgánica producida en otros ecosistemas (material alóctono), ya sea río arriba o en forma de detritus (materia orgánica muerta como hojas, ramas, etc.).

La zona riparia (incluye las orillas y la vegetación adyacente), es una frontera muy importante entre los sistemas acuáticos y terrestres; no solamente abastece de materia orgánica sino que también influye, mediante la sombra en los niveles de temperatura y luz, afectando la producción de plantas que crecen dentro del río (autóctonas). Esta zona también controla la erosión de las orillas y la entrada de sedimentos. Mientras una quebrada crece hasta convertirse en un río, la influencia de la zona riparia se va reduciendo gradualmente, por eso la relativa importancia de los recursos energéticos (alóctonos contra autóctonos), cambia río abajo.

La geología de la cuenca tiene una gran importancia en la química del agua; las quebradas que fluyen en cuencas de suelos que se han originado de rocas ígneas (granito), usualmente tienen niveles bajos de sales disueltas y pueden ser ácidas; mientras que las que fluyen sobre rocas sedimentarias tienen niveles relativamente altos de sales disueltas y pueden ser neutros o alcalinas. Los niveles de Calcio y el pH en particular tienen una importancia directa en las comunidades tanto animal como de las plantas. (Giller y Malmqvist, 1998).

La geomorfología determina el suelo (y la cantidad de iones) y la pendiente del terreno; el suelo y el clima determinan la vegetación, esta determina el aporte de materia orgánica y junto con el suelo influyen en la química del agua y en la entrada de esta a la quebrada. El movimiento del agua en la quebrada está afectado por la pendiente del terreno, profundidad y permeabilidad de los suelos y el régimen de lluvias locales.

La vegetación en la cuenca tiene influencia en la concentración de iones (de calcio o de magnesio), en los suelos y en el porcentaje en que varios tipos de iones son liberados en las quebradas y ríos. La vegetación en general y específicamente los árboles, atrapan iones del aire (incluyendo sales marinas y contaminantes atmosféricas). Este proceso es particularmente importante en regiones altas cerca del nacimiento de la mayoría de las quebradas. Las coníferas en particular son conocidas por tener una gran capacidad para atrapar iones comparados con otros tipos de árboles (Gee y Stoner, 1989).

En la cuenca la vegetación también tiene como función incrementar el porcentaje de movimiento del agua del suelo a la atmósfera mediante la evapotranspiración, creando más espacio de almacenamiento en la cuenca, así que eventualmente menos agua de lluvia llega hasta el cauce

de la quebrada. La evaporación es un proceso físico, que se produce a partir del agua libre y la transpiración es un proceso biológico que realizan las plantas para su funcionamiento interno; ambos se producen en forma continua, con o sin precipitación. Los bosques pueden reducir y regular la cantidad de agua que deja o entrega una cuenca en la quebrada en un 30 %, comparado con una cuenca desforestada.

Siempre que el suelo está en capacidad de campo, o con mayor cantidad de agua hacia la saturación, la evapotranspiración tiene lugar al nivel máximo potencial (evapotranspiración potencial), y en este caso su valor depende de las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad atmosférica, energía radiante, viento, etc.) de la atmósfera circundante; cuando la humedad del suelo desciende por debajo de la capacidad de campo, la evapotranspiración real es menor que la potencial, dependiendo en este caso de las características del suelo (textura, contenido de materia orgánica, etc.) y de la vegetación (especie, edad, densidad, etc.).

La evapotranspiración disminuye el contenido de la humedad del suelo, dejando espacio libre para la entrada y retención de más agua en el mismo, mejorando con ello las condiciones para la infiltración; por regla general, la evapotranspiración representa la principal vía de salida del agua de una cuenca y en términos anuales supone un porcentaje muy elevado (60-80 %) de las precipitaciones anuales. No obstante, durante las lluvias más intensas (mm /h), este proceso tiene poca importancia y en este caso la vía principal de salida del agua son las escorrentías (García-Jalón y González del Tánago, 1995).

Las aguas no infiltradas, junto con las que se mueven a través del suelo o en los acuíferos y no son aprovechadas por la vegetación, alcanzan los ríos o quebradas, por donde fluyen en forma de caudales hacia los mares u océanos; por lo tanto el régimen de caudales observado en un río está formado por los excedentes de agua que la cuenca recibe y no es capaz de retener y aprovechar.

Son las condiciones del clima (precipitaciones, temperaturas, humedad relativa, etc.) y las características geológicas (topografía, litología, suelos, etc.), sobre las que se asientan una determinada vegetación y usos del suelo, las que determinan el comportamiento hidrológico de cada cuenca, y la salida de caudales y sedimentos a los cauces configurando su morfología y dinámica fluvial. Ante diferentes regímenes de caudales líquidos y sólidos, se desarrollan ríos y quebradas de diferente anchura, profundidad, velocidad de la corriente, tipo de trazado, rugosidad del sustrato, etc.

La morfología y dinámica fluvial se refieren al estudio de las formas que presentan los cauces y su relación con los procesos fluviales de erosión y sedimentación, donde intervienen como fuerza activa los caudales circulantes y como elementos pasivos, los sedimentos del contorno del cauce, interviniendo en dichos procesos la forma y pendiente del valle y la presencia de la vegetación riparia.

El cauce queda definido longitudinalmente por el espacio ocupado en su recorrido por la lámina de agua desde el nacimiento hasta la desembocadura del río; transversalmente se puede definir el cauce atendiendo al nivel que alcanzan las aguas y a la frecuencia de las inundaciones que determinan la presencia de un tipo u otro de vegetación.

Se pueden diferenciar el nivel de aguas bajas o de estiaje; el nivel que alcanzan las avenidas ordinarias o más frecuentes, denominado nivel de *bankfull*, reconocido por la presencia de un ángulo

o cambio brusco de pendiente en una o ambas márgenes (en nuestro estudio lo hemos denominado Avenida máxima anual, C1) y el nivel de la llanura de inundación, alcanzado por las avenidas extraordinarias o menos frecuentes (en nuestro estudio avenida máxima cada 50 años, C2), conectado ya con las terrazas fluviales o laderas vertientes donde se desarrolla una vegetación típicamente terrestre (Fig. 1).



Figura 1. Zona de ribera de los ríos (orilla y ribera propiamente dicha) y zonas inundadas periódicamente por las avenidas ordinarias y las máximas.

La magnitud del cauce y su llanura de inundación, dependen de la geomorfología del valle y la presencia de la vegetación conectada con un nivel freático elevado (García-Jalón y González del Tánago, 1995). El caudal ejerce una influencia fundamental en todos los ríos y quebradas, es un elemento clave en el hábitat fluvial, una prescripción de los requerimientos de la flora y fauna presentes en el río a lo largo de sus ciclos biológicos, que influyen en la variedad de respuestas que ocurren después de las perturbaciones (Thoms y Walker, 1992).

Un río se puede analizar como un continuo longitudinal (Vannote *et al.*, 1980), cambiando de forma más o menos predecible desde el nacimiento hasta la desembocadura; los márgenes fluviales también varían siguiendo un continuo aguas abajo. El gradiente longitudinal de los tipos de márgenes fluviales refleja un gradiente climático, relacionado con la altitud y el grado de continentalidad; un gradiente hidrológico, puesto de manifiesto por los cambios en los regímenes fluviales y especialmente su variabilidad; y un gradiente geomorfológico reflejado por las pautas del cauce y su desplazamiento lateral.

Un río puede dividirse en tres zonas; la primera comprende los cauces de cabecera, de primer a tercer orden, y puede ser vista como una zona de producción de agua, sólidos disueltos y sedimentos procedentes de las laderas; la segunda ocupa el tramo medio y se considera como zona de transporte, caracterizada por una elevada heterogeneidad ambiental y alta riqueza específica y en tercer lugar aparecen los tramos bajos del río con su llanura de inundación representando una zona

de depósito. Los ríos de orden superior al cuarto están con frecuencia aislados de las laderas adyacentes por los sistemas riparios de la llanura de inundación, siendo éstos los tramos que han sido más severamente impactados por las actividades humanas (Large y Petts, 1994).

## 8.2.2 JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGIA

Casi todas las rullanderías del municipio de Santander de Quilichao vierten directamente sin ningún tratamiento, sus aguas residuales a las quebradas que pasan por muy cerca de ellas, contribuyendo a elevar la carga contaminante que estas llevan. Un poco más de la mitad del total de todas las rullanderías de esta región, arrojan sus vertidos a solo dos quebradas y sus afluentes: La Chapa (37,2 %) y Tiembra (24,2 %). Por esta razón y porque no se había hecho un estudio con las características geomorfológicas, entradas y salidas de aguas, usos del suelo en sus laderas y vegetación en sus riberas de estas dos quebradas; se decidió hacer este estudio desde el nacimiento hasta su desembocadura haciendo mediciones de longitud, caudal (ancho, profundidad y velocidad de la corriente de agua), altitud, pendiente longitudinal y pendientes de las dos márgenes.

Este estudio está dividido en tres partes: primera, estudio de quebrada La Chapa (se hace mediciones y descripción desde el nacimiento hasta la desembocadura de las principales características encontradas tales como: entradas y salidas de aguas, derrumbes, empalizadas, caminos, puentes, acumulación de sedimentos, caídas de aguas, cultivos y vegetación encontrada en ambas márgenes, etc.), segunda parte, estudio de quebrada Tiembra (igual que en La Chapa) y la tercera parte es el resultado del estudio hecho en estas dos microcuencas sobre las comunidades vegetales encontrada en la parte alta y baja de estas.

El estudio de la vegetación es importante no solo para conocer el estado de la misma, sino también, el de otros componentes relacionados con el ecosistema. A partir del análisis ecológico de la flora de un lugar, se pueden hacer inferencia sobre la diversidad, estructura y complejidad de las formaciones boscosas.

En el caso de la vegetación Subandina, es importante conocer no solo su inventario, diversidad y complejidad, sino también, su dinámica sucesional y estado de conservación, debido a la presión que ejerce el aprovechamiento de estos recursos. En particular, en la zona de estudio se desarrollan diversas prácticas culturales relacionadas con la ganadería y agricultura de laderas, que producen efectos significativos al entorno.

Este estudio, enfatiza en el conocimiento de las comunidades desde el punto de vista de su composición florística, estructura y variables fitosociológicas. Para cumplir con este objetivo se realizaron muestreos de vegetación en las riberas de las quebradas Tiembra y La Chapa. En cada micro cuenca se realizó levantamientos, tomando ejemplares y registrando la información pertinente para su procesamiento y análisis posterior en el laboratorio. Se reportan descripciones y cuadros donde se sintetizan los aspectos más relevantes de la vegetación estudiada en las diferentes localidades.

Se realizaron levantamientos de vegetación para valorar un área de 400 m<sup>2</sup>, utilizando como unidad muestral el transecto en banda (Gentry, 1986). Hecho un muestreo por el método del transecto, se delimitó así: 25 m x 2m para un área mínima 50 m<sup>2</sup>. De acuerdo con las características

ecológicas y estado antrópico de la zona de trabajo, tanto el área muestreada como el número y ubicación de los transectos se proyectaron y localizaron con el propósito de lograr una buena representación de la composición florística de la zona de vida estudiada alrededor de las microcuencas. Otro criterio fue localizar las unidades muestrales cerca de los sitios donde se recogieron muestras de aguas para análisis fisicoquímico y de macroinvertebrados, en los sitios conocidos como: 3A, 21A y 21B de la quebrada la Chapa; 38A, 38B y 51A de la quebrada Tiembra.

Para la ubicación de las unidades muestrales y la toma de muestras se realizó estratificación, definiendo en cada quebrada o microcuenca dos sitios representativos de acuerdo con las características fisonómicas o apariencia externa de la vegetación, fisiografía y altura sobre el nivel del mar (msnm), desarrollando el muestreo a través de un patrón o método preferencial (Matteucci y Colma, 1982).

Se definieron como elementos de evaluación los árboles con un DAP  $\geq 10$  cm. (Diámetro a la Altura del Pecho mayor o igual a 135 cm, desde la base del árbol), de los cuales se tomaron muestras para su procesamiento y determinación posterior en el Herbario-CAUP de la Universidad del Cauca. En el campo se registraron datos morfológicos y ecológicos para su descripción específica.

Igualmente, se colectaron selectivamente algunos vegetales con hábitos arbustivos y herbáceos asociadas con las fitocenosis trabajadas. El material vegetal se colectó sólo cuando se encontró en estado reproductivo (floración o fructificación). En laboratorio, se hicieron observaciones y se completó la descripción de las características morfológicas indispensable para el proceso de clasificación. Las muestras procesadas fueron analizadas y ubicadas en sus respectivas categorías taxonómicas.

Una vez definido el método que se aplicará, la muestra y tipo de muestreo a considerar (DAP  $\geq 10$  cm) en los estudios de la vegetación, las características que generalmente se cuantifican son: el número de individuos por área de muestreo (densidad), el número de veces que una especie aparece en la muestra total (frecuencia) y el área basal o la cobertura (dominancia).

Se tomaron algunos datos para los cálculos biométricos como: diámetro basal (DB), altura del fuste (HF), altura total (HT), dimensiones de copa (DC). Igualmente, se consideraron parámetros fitosociológicos como: frecuencia (F), densidad (D), dominancia (DO) y se calcularon los respectivos valores relativos (%) de: FR, DR, DOR y los índices de valor de importancia (IVI), de diversidad (H') de Shannon-Weaver. La similitud entre las muestras de las comunidades, se calculó mediante el índice de Sorensen (Margalef, 1980), (Franco López, 1985).

Con los datos sistematizados y analizados se elaboró: listado de composición florística (Tabla 1) y una síntesis con las variables fisonómico-estructurales e índices calculados (Tablas 2, 3, 4, 5 6 y 7). Finalmente, en el proceso de análisis, la información obtenida tanto en campo como en el laboratorio, se confrontó con literatura especializada (Cuatrecasa, 1958; IGAC, 1977; Braun-Blanquet, 1979; Espinal, 1981; Lamprecht, 1990; Gentry, 1993a; Gentry, 1993b; Cortes, 1994 y Zambrano, 1998).

### 8.2.3 QUEBRADA LA CHAPA

La quebrada la Chapa nace a 1800 msnm muy cerca del cerro La Chapa y la vereda La Concepción donde hay Cabildo Indígena del mismo nombre (Figura 1), una primera línea de agua que viene por la derecha nace muy cerca de donde nace la quebrada Santa Bárbara (afluente de la quebrada Tiembla), a 400 m se midió caudal y encontramos:  $A=0,42$  m,  $P=0,05$  m,  $V=0,142$  m/s y  $Q=0,003$  m<sup>3</sup>/s ( $A$ =ancho,  $P$ =profundidad,  $V$ =velocidad,  $Q$ =caudal). Aguas abajo, por el lado izquierdo, dos líneas de agua que nacen en la finca La Estefana se unen y metros más adelante desemboca a la línea que viene por la derecha, es en este sitio donde podemos decir que la quebrada La Chapa toma forma y se desarrolla coma tal (a partir de aquí comenzamos a tomar mediciones de longitud, pendiente, altitud y caudal); en febrero 1 de 2000, h=10:35 tomamos medidas y hallamos:  $A=0,58$  m,  $P=0,09$  m,  $V=0,580$  m/s,  $Q=0,0265$  m<sup>3</sup>/s,  $S=10\%$ ; L.A.=0,90 m,  $C_1=2,10$  m,  $C_2=3,70$  m y AL=1650 msnm ( $S$ =pendiente, L.A.=ancho de lámina de agua,  $C_1$ =cauce de máxima avenida anual,  $C_2$ =cauce de máxima avenida en cincuenta años y AL=altitud), ver Figura 2 y 3.

En ambas márgenes, las pendientes están entre 75% y 80%, el pequeño bosque de ribera no llega a los veinte metros de ancho por la margen derecha, en los primeros cien metros están aserrando árboles grandes; en los siguientes cien metros las pendientes de la margen izquierda son un poco menores (55%); entre los doscientos y trescientos metros aguas abajo encontramos que también están aserrando árboles grandes, que se presentan deslizamientos y que hay una estructura de concreto para captación de agua con diámetro de dos pulgadas, las pendientes de la margen izquierda son hasta del 89% y las de la derecha del 81%. A cuatrocientos metros encontramos bocatoma de otro acueducto, medimos caudal y encontramos:  $A=1,663$  m,  $P=0,09$  m,  $V=0,540$  m/s,  $Q=0,0654$  m<sup>3</sup>/s,  $S=6,3\%$ , L.A.=2,0 m,  $C_1=4,0$  m,  $C_2=7,7$  m y AL=1580 msnm (Medición de Febrero 1º. De 2000 h 12:47)

Hasta los cuatrocientos cuarenta metros encontramos por la margen izquierda pendientes del 55% con pastos y unos pocos arbustos. Del lado derecho las pendientes son del 58% y 43% y hay un cafetal desde 440 hasta 570 m, donde encontramos un camino.

Por la margen izquierda después del camino encontramos rastrojos con pendientes del 80% y a 600 m, encontramos sitio de producción de carbón vegetal, luego encontramos cafetal (*Coffea arabiga*) y a continuación platanal (*Musa paradisiaca*) hasta los 700 m. Desde aquí hasta 890 m, hay un pequeño bosque de ribera con un ancho de 10 m (paralelo hay pasto y café).

Después del camino por la margen izquierda hay pastos y rastrojo con muy pocos árboles hasta 665 (altitud igual a 1570 msnm), donde encontramos pequeña caída de agua y bosque de ribera con pendiente del 75% y 85% (este angosto bosque de ribera va bordeando el cauce y paralelo hay rastrojos). De 700 a 740 m, el lecho es rocoso, se presentan pequeñas caídas de agua y rápidos y raudales; paralelo al bosque de ribera hay cafetal y platanal hasta los 800 m, para luego continuar hasta 1140 m. A 740 m encontramos bocatoma del acueducto (Figura 4) de la vereda El Llanito (diámetro de tubería de 4 pulgadas), medimos caudal (febrero 2 de 2000 h 10:40) y hallamos  $A=0,886$  m,  $P=0,097$  m,  $V=0,692$  m/s,  $Q=0,04758$  m<sup>3</sup>/s,  $S=4,6\%$ ; L.A.=1,4 m,  $C_1=2,3$  m,  $C_2=7,0$  m, AL=1,560 msnm. En 853 m, se encuentra antigua bocatoma del acueducto de la vereda El Llanito, en 873 m, encontramos pequeña caída de agua (1,5 m).

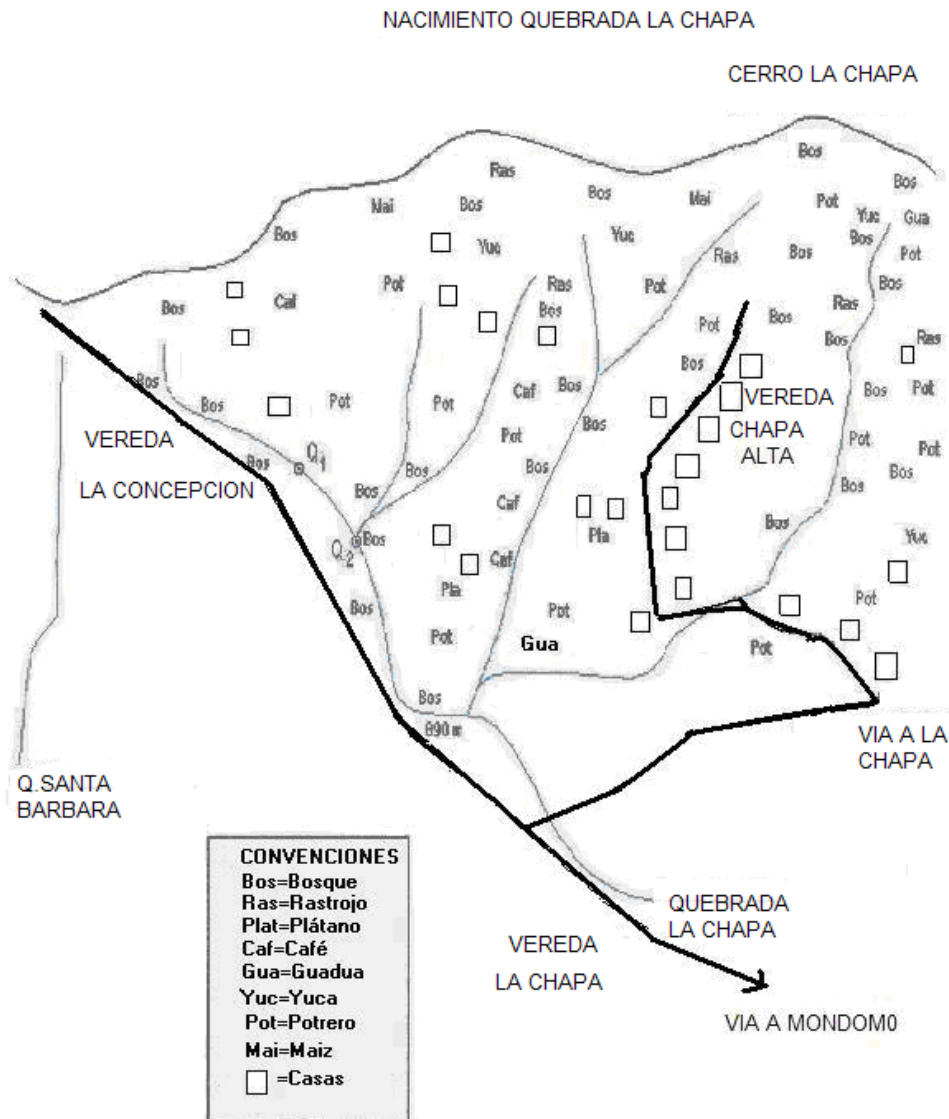


Figura 2. Nacimiento de la quebrada La Chapa entre las veredas la Concepción, La Chapa y el cerro del mismo nombre.

Por la margen izquierda a 890 m, encontramos pendiente del 63% con pastos que van hasta el borde del cauce y la desembocadura de la quebrada Chamé (Chapa media), que la forman dos líneas de agua que vienen por el lado derecho (Chapa alta) y otra que nace cerca de la finca de propiedad del señor Miguel Peña; por medio de estas dos líneas de agua se ha construido una vía que comunica el sitio conocido como Chapa alta (conformada por 13 casas), con la vereda La Chapa. En Febrero 2 de 2000 a las 11:00 y 12:00 se midió caudal y hallamos:  $A=1,77$  m,  $P=0,188$  m,  $V=0,453$  m/s,  $Q=0,12054$  m<sup>3</sup>/s,  $S=9,4\%$ ,  $L.A.=2.10$  m,  $C_1=3,50$  m,  $C_2=5.60$  m y  $AL=1550$  msnm; ver Figura 5.

Después de esta quebrada aguas abajo encontramos pastos hasta el borde mismo de la quebrada La Chapa, hasta los 1000 m, donde aparecen unos pocos árboles hasta los 1300 m; paralelo a estos árboles que bordean el cauce hay pastos. En 980 y 1090 m, hay camino y en 1140 m, hay puente que comunica con la vía que conduce a la vereda La Chapa, las pendientes en este sitio son menores (38%). En 980 m, se midió caudal y encontramos:  $A=1,69$  m,  $P=0,213$  m,  $V=0,447$  m/s,  $Q=0,12860$  m<sup>3</sup>/s,  $S=11,1\%$ ,  $L.A.=1,8$  m,  $C_1=4,8$  m y  $C_2=10$  m.

Por la margen derecha después de la vía encontramos agua abajo cafetal hasta los 1300 m, con muy pocos árboles al borde del cauce y con pendientes hasta del 70%; desde este sitio hasta los 1600 m, aguas abajo encontramos pequeño bosque de ribera bordeando el cauce con guadua en ambos márgenes (La guadua es un bambú leñoso que pertenece a la familia de las gramíneas, taxonómicamente a las Poaceae y del cual existen realmente en el mundo cerca de 1.000 especies, 500 de ella en América; de éstas aproximadamente 20 conforman las especies prioritarias de bambú y dentro de ellas Colombia tiene una que posee las mejores propiedades físico-mecánicas del mundo y extraordinaria durabilidad: *La Guadua angustifolia*.) con pendientes hasta del 85%, paralelo a este bosque hay potreros (terrenos dedicados a la ganadería), rastrojo y un cafetal, después de la quebrada Juanambú (1340 m); hay un camino a los 1480 m.

Por la margen izquierda después de la vía hay pequeño bosque de ribera con pocos árboles hasta los 1300 m, con pendientes del 75% (en 1220 m, hay deslizamientos), paralelo a este bosque hay potreros que llegan hasta el borde mismos del cauce (entre 1300-1340 m); en este sitio las pendientes son menores (45%) y el terreno es cenagoso. En 1340, desemboca la quebrada Juanambú, después de ésta encontramos aguas abajo bordeando el cauce pequeño bosque de ribera con guaduales y pendientes del 75% hasta los 1600 m. En 1480 m, medimos caudal y hallamos:  $A=2,253$  m,  $P=0,217$  m,  $V=0,357$  m/s,  $Q=0,13970$  m<sup>3</sup>/s,  $S=3,4\%$ ,  $L.A=2,17$  m,  $C_1=4,6$  m,  $C_2=8,6$  m,  $AL=1510$  msnm,  $S_{1680}=11,25\%$ ,  $S_{1700}=5,9\%$ ,  $S_{1725}=4,69\%$  y  $S_{1740}=10,8\%$  (medición de febrero 2 de 2000 a las 14:53 h).

A 1600 m, encontramos dos caídas de aguas seguidas, una de 2,20 m y otra de 1,0 m, aguas abajo se encuentra por la margen derecha que el borde del cauce es rocoso y paralelo a un angosto bosque de ribera hay pastos que van desplazándolo hasta llegar al borde mismo del cauce (entre 1680 y 1480 m), luego unos pocos árboles diseminados a lo largo del cauce para desaparecer por completo entre 1960 y 2060 m, para dar lugar al pasto. Las pendientes están entre 75% y 85% hasta los 1900 m, a partir de este punto hasta los 2060, son del 15%, esta llanura o parte plana en su parte más ancha llega a tener 90 m, paralela a ésta que tiene pendientes de 80%.

Por la margen izquierda también hay un angosto bosque de ribera que desaparece en algunos tramos para dar lugar al pasto (entre 1680 a 1880 m y entre 1940 a 2070 m), las pendientes van entre 65 y 48% desde los 1600 hasta 1940 m, luego encontramos un terreno llano del 15% hasta 2040 m, paralelo al bosque de ribera y a la llanura encontramos lomas (alturas pequeñas y prolongadas) con el 80% de pendiente. En 1700 y 2000 m, encontramos camino en ambas márgenes entre 1660 y 1720 m, encontramos terreno cenagoso y tres entradas de agua a la quebrada La Chapa. Entre 1740 y 1800 m, hay lecho rocoso y caídas de agua que son un espectáculo digno de admirar pues son de 20 m de caída en este tramo ( $AL= 1480$  a  $1460$  msnm, respectivamente).

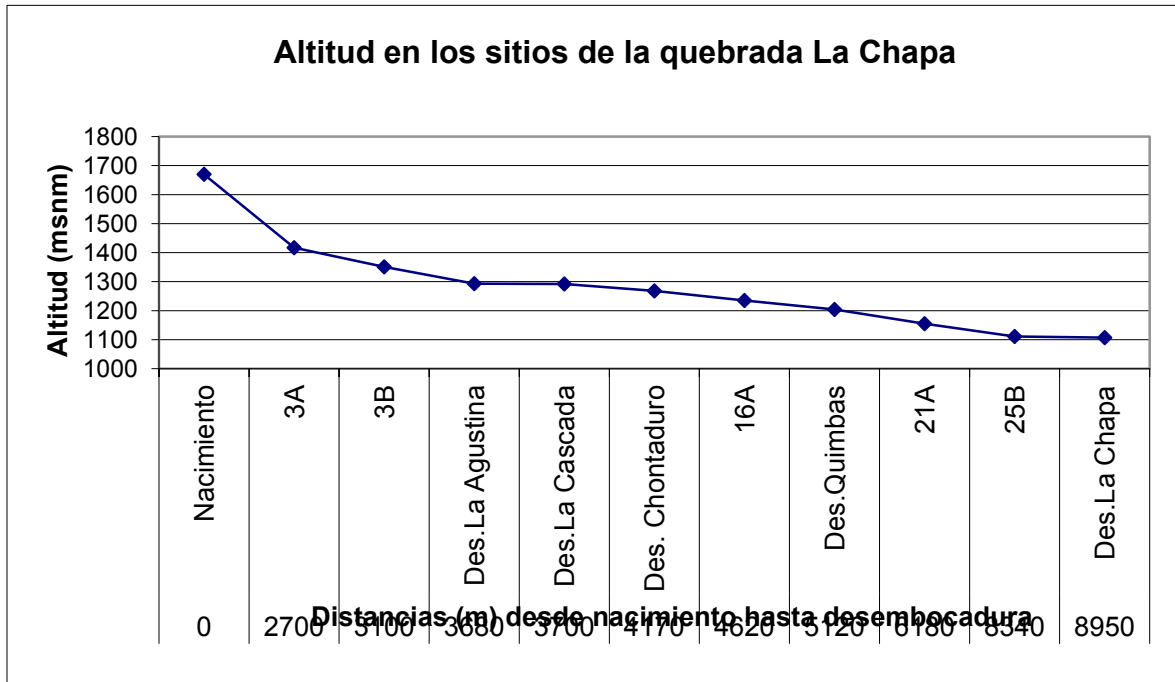


Figura 3. Altitud desde el nacimiento hasta la desembocadura.

Hay entrada de agua al cauce en 1760, 1780 y 1900 m; en 1860 m medimos caudal y hallamos:  $A=2,93$  m,  $P=0,211$  m,  $V=0,295$  m/s,  $Q=0,14567$  m<sup>3</sup>/s,  $AL=1477$  msnm,  $L.A.=3,0$  m,  $C_1=6,2$  m y  $C_2=13,7$  m. (medición de Febrero 3 de 2000 a las 10:05 h). En los 2000 m, se encontró:  $A=2,575$  m,  $P=0,1683$  m,  $V=0,310$  m/s,  $Q=0,10747$  m<sup>3</sup>/s,  $L.A.=2,4$  m,  $C_1=3,7$  m y  $C_2=7,0$  m. (medición de Febrero 3 de 2000 a las 10:48 h).

Después del camino (a 2000 m) se acaban los pastos por la margen derecha y encontramos cafetal hasta 2140 m, en 2070 m, hay puente de guadua y a partir de este punto hasta los 2100 m el lecho es rocoso y hay caída de agua de 2,30 m de altura, en 2110 m entra una pequeña línea de agua. A partir de 2140 m, aguas abajo encontramos pequeño bosque de ribera bordeando el cauce y paralelo a éste encontramos rastrojo en ambas márgenes hasta los 2600 m, con pendientes que van desde 80 al 90%. Este tramo presenta bastantes caídas de agua y lecho rocoso en el cauce, en 1260 m hay caída de 1,8 m de altura, lo mismo en: 2260 (3 m), 2280 (2,2 m), 2333 (2,56 m), 2383 (1,10 m) y 2460 (2,10 m). De 2470 a 2488 m (2,56 m). De 2488 a 2500 m (4,05 m) y de 2500 a 2515 m (5,10 m). Este tramo también presenta por la margen derecha muchos derrumbes: En 2300 y 2520 m (árboles y tierra han caído al cauce).

Por la margen izquierda a 2060 m, hay entrada de una línea de agua pequeña y a partir de este punto hasta los 2600 m es igual a la margen derecha donde encontramos bosque de ribera muy angosto y paralelo a él rastrojos con sitios al pie del cauce con caña brava (*Gynerium sagittatum*, gramínea silvestre muy dura; sus tallos se usan como materia prima en muchos trabajos artesanales. Se le llama también caña amarga) y pendientes hasta del 80%. También se presentan derrumbes y taponamiento de la quebrada en 2320 y 2420 m, en este último punto se ha formado un islote de 7 m de ancho por 35 m de largo. En 2460 m hay acueducto abandonado y entre 2480 a 2500 m el borde

del cauce es rocoso y a 2570 m hay un canal que extrae agua de la quebrada el cual se midió y hallamos:  $A=0,365$  m,  $P=0,156$  m,  $V=0,259$  m/s y  $Q=0,01325$  m<sup>3</sup>/s.

En 2530 m se midió caudal a la quebrada La Chapa y encontramos:  $A=2,423$  m,  $P=0,176$  m,  $V=0,580$  m/s,  $Q=0,1979$  m<sup>3</sup>/s,  $AL=1425$  msnm,  $S_{2500-2515}=34\%$ ,  $S_{2488-2500}=18,4\%$ ,  $S_{2470-2488}=4,22\%$  (tres caídas de agua),  $S_{2460}=30\%$ ,  $S_{2260-2280}=26\%$  y  $S_{2333}=15,05\%$  (medición de Febrero 3 de 2000 a las 12:09 h).

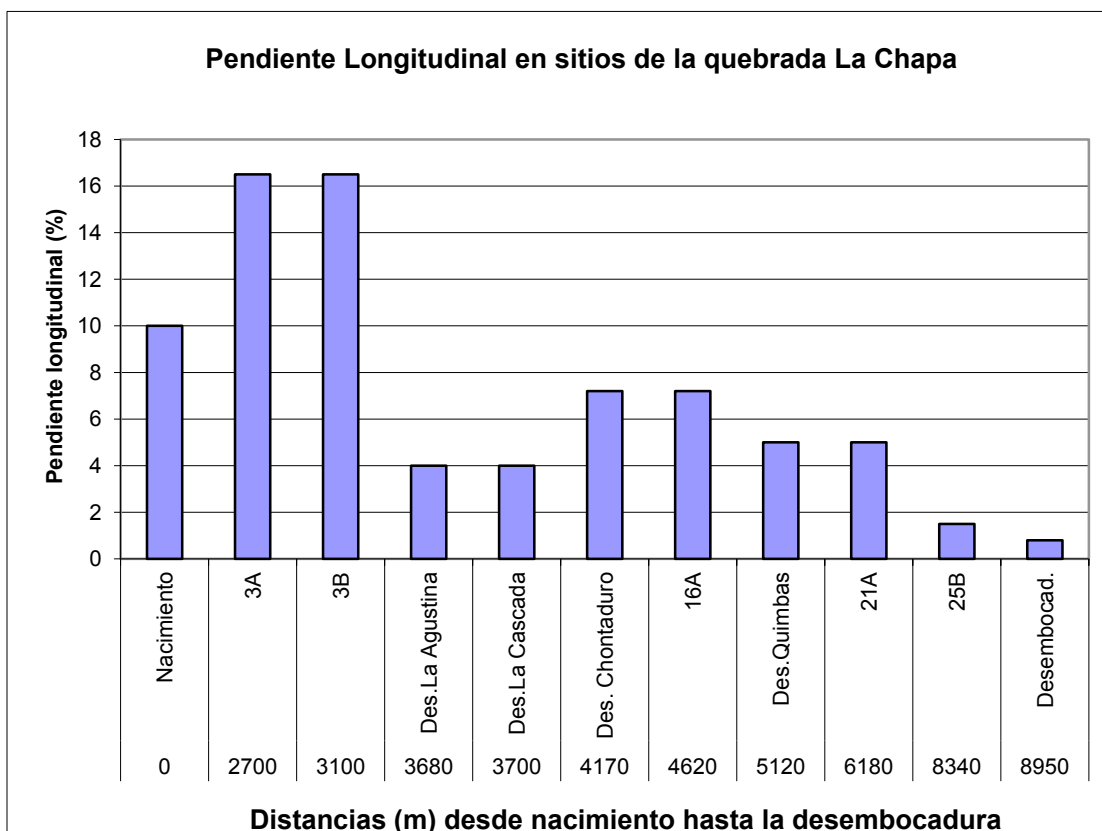


Figura 4. Pendiente longitudinal de la quebrada La Chapa desde el nacimiento hasta la desembocadura.

Por la margen derecha después de los 2600 m aguas abajo encontramos pequeño y angosto bosque de ribera hasta 2640 m, después hallamos un cafetal que va hasta 2840 m cerca de la carretera Panamericana (Vía que atraviesa a Colombia de norte a sur y que comunica a los países de América desde México hasta Argentina). En este tramo encontramos pendientes de 90% (en algunas partes es casi una pared), caída de agua en 2616 m (1,6 m), roca grande en 2660 m, deslizamientos en 2690 m y entre 2760 a 2840 m unos pocos árboles grandes al borde del cauce.

Por la margen izquierda entre 2600 a 2616 m hay una roca grande, entre 2680 y 2700 m (sitio de muestreo 3A) hay tanques de almacenamiento y desarenadores de agua de acueducto; entre 2760 a 2800 m hay construcciones para levante de cerdos, en 2760 m hay salida de aguas residuales de las porquerizas, en 2780 m hay salida de aguas residuales de una rallandería (funciona esporádicamente). En 2820 m hay casa al borde del cauce.

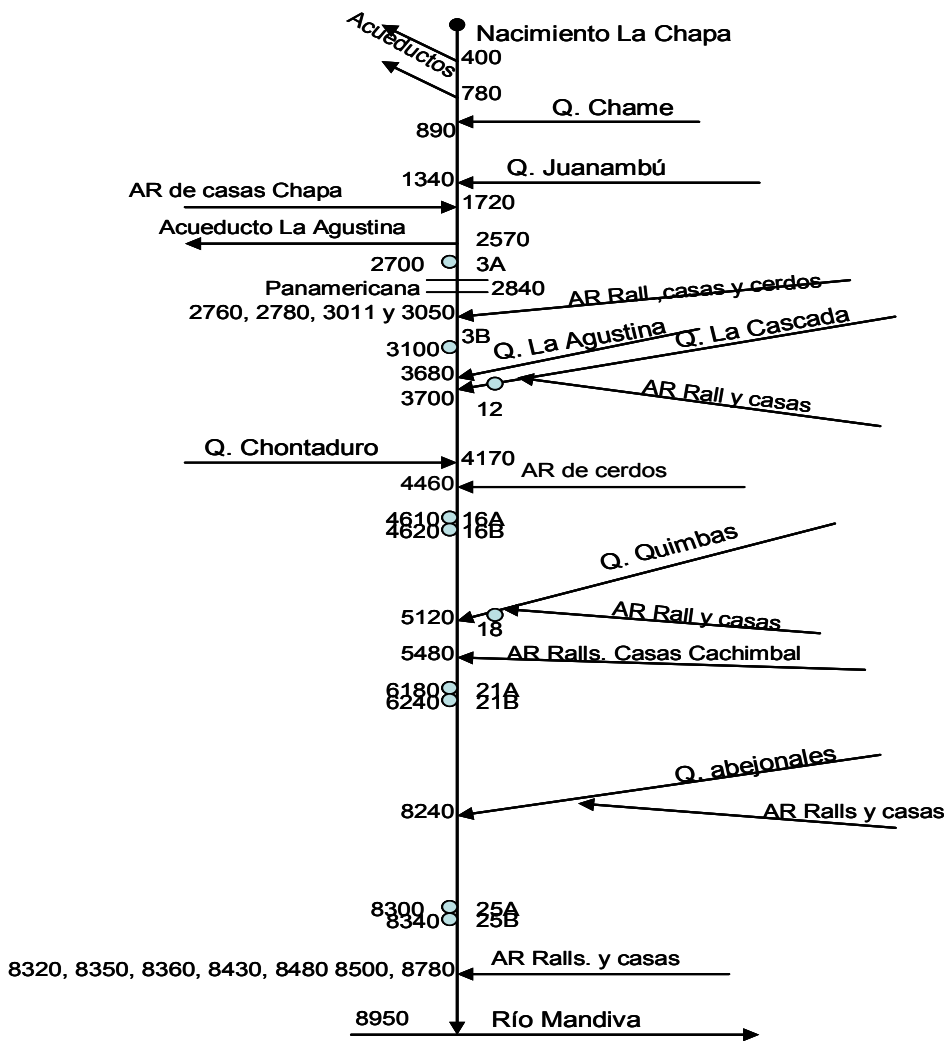


Figura 5. Diagrama de entradas y salidas de corrientes de aguas, entradas de aguas residuales (AR) y sitios de muestreo en la quebrada La Chapa y sus afluentes.

Después de la Panamericana, aguas abajo observamos por la margen derecha unos pocos árboles y rastrojo, donde aparece un platanal y entre 2980 a 3300 m hay pastos y rastrojos con pendientes entre 70 y 85%. En 2900 m, medimos altitud igual a 1360 msnm, entre 1910 a 1920 m hay caída de agua, piedras grandes, acumulación de sedimentos y árboles (S=48%); en 2970 m hay derrumbe de 30 m de alto lo mismo en 2985 m. En 3000 m la altitud fue 1340 msnm, en 3032 m hay caída de 2,7 m, en 8 m de longitud (S=33,8%), lo mismo sucede en 3060 m, donde hay caída de 3,26 m en 5 m de longitud (S=72%), en 3100 m, encontramos sitio de muestreo 3B. En 3180 m cae línea de agua sin nombre, la cual medimos: A=0,587 m, P=0,066 m, V=0,313 m/s, Q=0,01090 m<sup>3</sup>/s. (medición de febrero 4 de 2000 a las 9:28 h); en 3260 m hay derrumbe y 3280 a 3300 m encontramos peña (pared rocosa).

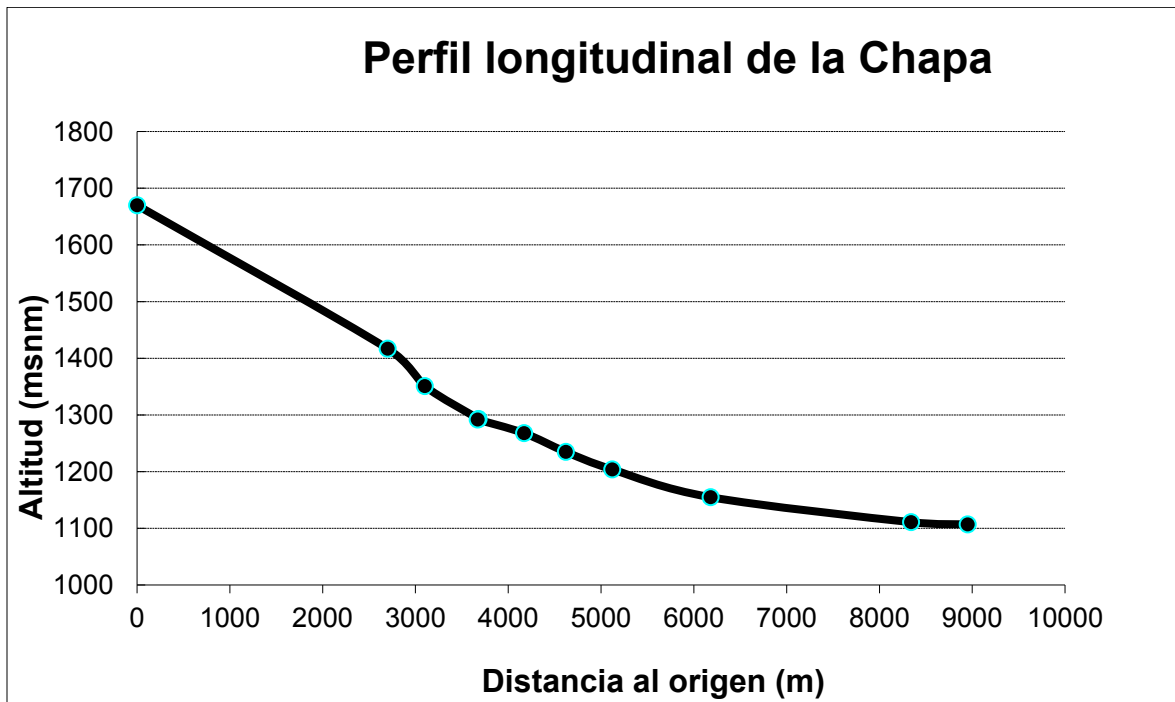


Figura 6. Perfil longitudinal de la quebrada La Chapa desde nacimiento hasta desembocadura.

Por la margen izquierda después de la Panamericana encontramos derrumbes: entre 2860 a 2880 m, de 2900 a 2910 m, de 3215 a 3220 m y de 3265 a 3280 m, estos derrumbes que están cerca de la Panamericana ponen en peligro a las casas y demás construcciones que están cerca al cauce. En 2885 m caen aguas residuales de una casa, desde 2929 hasta 3100 m hay cafetal, entre 2940 a 2960 m hay rocas y tres caídas de agua de 2,06; 1,14 y 2,5 m de altura y en 2980 m hay otra caída de agua de 3,2 m. En 3011 m, entra a la quebrada agua residual de la Rallandería No. 3 (de propiedad de Rosalba Betancurt), lo mismo sucede a 3050 m (agua residual de casas), en 3060 m hay piedra grande; desde 3100 hasta 3280 m hay pastos y rastrojo. En 3260 m hay entrada de agua limpia lo mismo que a 3200 m ( $Q=0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ ). En este mismo sitio se midió caudal de la quebrada La Chapa:  $A=2,725 \text{ m}$ ,  $P=0,217 \text{ m}$ ,  $V=0,354 \text{ m/s}$ ,  $Q=0,16754 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $AL=1320 \text{ msnm}$ ,  $L.A.=3 \text{ m}$ ,  $C_1=6,40 \text{ m}$ ,  $C_2=9,30 \text{ m}$ ,  $S_{2600-2616}=10\%$ ,  $S_{2910-2920}=48\%$ ,  $S_{3040 \text{ a } 3032}=33,8\%$  y  $S_{3060}=72\%$  (medición de febrero 4 de 2000 a las 9:50 h).

Aguas abajo de la peña, por la margen derecha hay entre 3320 a 3340 m rocas grandes y sedimento; de 3360 a 3400 m hay un rápido o raudal sobre lecho rocoso con una caída de 7 m de altura que vuelve a aparecer de 3420 a 3460 m, con caída de 15 m. Las pendientes en este sitio son del 90%; en 3500 m la altitud fue de 1280 msnm, volvemos a encontrar peña (pared rocosa en el cauce) de 3580 a 3620 m, lo mismo que rápidos o raudales y caídas de agua en: 3600 m (altura 4,20 m), 3620 m (altura 1,16 m) y 3630 m (altura 1.43 m). De 3640 a 3660 m se ha formado un islote de piedras, sedimentos, pastos y un árbol.

Por la margen izquierda las pendientes están entre 80 y 60%; en 3280 m, hay gradual y de este sitio hasta 3500 m hay pasto al borde del cauce, luego aparece un cafetal y de 3560 hasta 3680 m vuelven a haber pastos. Por la margen derecha de 3660 a 3680 m, hay caída de agua de 2,87 m en 5 m de longitud ( $S=57,4\%$ ) y también se presentan deslizamientos (las pendientes son del 90%).

En 3620 m, se midió el caudal de la quebrada La Chapa:  $A=2,538$  m,  $P=0,242$  m,  $V=0,349$  m/s,  $Q=0,17148$  m<sup>3</sup>/s,  $AL=1280$  msnm,  $L.A=2,45$  m,  $C_1=7$  m,  $C_2=12,10$  m,  $S_{3620-3640}=13\%$ ,  $S_{3420-3460}=37,5\%$ ,  $S_{3660-3348}=58,3\%$  y  $S_{3660-3680}=14,35\%$  (medición de febrero 4 de 2000 a las 11:35 h)..

Encontramos otro deslizamiento de 30 m de altura a 3710 m (la pendiente es del 95%), desde aquí hasta los 4170 m solo encontramos muy pocos árboles, bastante rastrojo y pequeños e intercalados lotes de caña brava (*Gynerium sagittatum*). Las pendientes son muy variadas y van desde el 70 hasta el 15%. En 3780 y 4100 m hay caída de agua (1,23 y 3,20 m respectivamente), de 3835 a 3860 m hay un islote formado de piedras, troncos, pastos, dos árboles y una piedra grande; en 4170 m encontramos puente de guadua que comunica con camino en ambas márgenes y desembocadura de la quebrada Chontaduro.

Aguas abajo por la margen izquierda se encuentra la desembocadura de la quebrada La Agustina (a 3680 m), sobre la quebrada La Chapa se midió caudal y tiene:  $A=2,717$  m,  $P=0,209$  m,  $V=0,510$  m/s,  $Q=0,23168$  m<sup>3</sup>/s, por lo tanto la diferencia entre los dos caudales medidos en La Chapa nos dará el volumen de agua que corre por La Agustina y es de  $0,0602$  m<sup>3</sup>/s (medición febrero 4 de 2000 a las 12:03 h). En 3700 m desemboca la quebrada La Cascada, se midió caudal de la Chapa en 3740 m y encontramos:  $A=3$  m,  $P=0,2505$  m,  $V=0,676$  m/s,  $Q=0,40622$  m<sup>3</sup>/s,  $Q_{Cascada}=0,40622$  m<sup>3</sup>/s –  $0,23168$  m<sup>3</sup>/s =  $0,17454$  m<sup>3</sup>/s (medición febrero 4 de 2000 a las 12:50 h). Por esta margen izquierda encontramos muy pocos árboles al borde del cauce, hay gran cantidad de rastrojo, pequeños lotes de caña brava y pastos; hay caída de agua de 4,25 m en 3880 m y se presenta un derrumbe con una altura de 35 m, pendiente del 90% entre 4010 a 4020 m.

Por la margen derecha a 4170 m, está la desembocadura de la quebrada Chontaduro que tiene:  $A=1,494$  m,  $P=0,104$  m,  $V=0,298$  m/s,  $Q=0,04170$  m<sup>3</sup>/s; (medición de febrero 8 de 2000 a las 8:03 h). Pocos metros más abajo se midió la quebrada La Chapa a 4190 m y encontramos:  $A=4,35$  m,  $P=0,258$  m,  $V=0,654$  m/s,  $Q=0,58705$  m<sup>3</sup>/s,  $AL=1260$  msnm (a 4000 m),  $L.A.=4$  m,  $C_1=74$  m,  $C_2=13,6$  m,  $S_{3666}=57,4\%$  y  $S_{4100}=45,7\%$ . Por esta margen encontramos al borde del cauce un cafetal que va desde 4170 a 4220 m, luego un gradual (20 m) posteriormente una asociación de yuca-maíz que va hasta los 4400 m, aparece un cafetal abandonado en medio de un pequeño bosque de ribera hasta los 4600 m; de este sitio hasta los 5170 m solo encontramos al lado del cauce rastrojo y pastos.

Las pendientes son del 69% (entre 4170-4380 m), 81% (4400-4620 m) y del 15% (4640-5170 m); en 4540 m y 4580 m hay dos líneas de agua que entran a la quebrada La Chapa, entre 4580 m y 4600 m encontramos piedras grandes en el cauce. De 4620 a 4640 m hay un islote de piedra, sedimentos, árboles y arbustos, entre 4640 a 4680 m hay terreno cenagoso, de 4720 a 4740 m hay peña, en 4880 m hay puente de guadua y camino en ambas márgenes, lo mismo sucede en 5015 y 5170 m. En 4920 m se midió caudal de la quebrada La Chapa y obtuvimos:  $A=3,538$  m,  $P=0,204$  m,  $V=0,783$  m/s,  $Q=0,45193$  m<sup>3</sup>/s,  $S=5,32\%$ ,  $AL=1200$  msnm,  $L.A.$ ,  $C_1$  y  $C_2=4,5$ ,  $8,2$  y  $11,5$  m respectivamente.

Por la margen izquierda encontramos un angosto bosque de ribera (ancho promedio de 10 m), que bordea el cauce (de 4170-4700 m) y paralelo a este hay rastrojo y pastos (en la loma), con pendientes entre 55 y 70%; en 4540 hasta 4600 m hay peña, en 4610 m está el sitio de muestreo 16A y en 4620 m (sitio de muestreo 16B), cae el agua residual de la rallandería No. 16 (propiedad de

Manuel Jiménez). Entre 4680 y 4720 m el agua de la quebrada corre por esta margen debido al islote que aquí se forma, a continuación encontramos un cultivo de maíz y en 4780 m una línea de agua limpia que le entra al sistema, luego encontramos unos pocos árboles al borde del cauce y entre 4840 y 4860 m encontramos otro islote formado por ocho piedras grandes, un árbol y sedimentos. Desde el puente de guadua que comunica con el camino que va a salir a la Panamericana hay un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), de 4880 a 5040 m en la loma, pero al borde del cauce hay rastrojo. De 5040 a 5080 m hay unos pocos árboles, luego hasta 5020 m hay caña brava y enseguida un guadual hasta 5170 m donde encontramos el otro camino, paralelo a estos hay pastos en la loma para pastoreo. En 5120 m está la desembocadura de la quebrada Quimbas, en 5140 m encontramos dos piedras grandes una en cada margen, en 5120 m se midió caudal y se encontró:  $A=0,898\text{m}$ ,  $P=0,124\text{m}$ ,  $V=0,440\text{m/s}$ ,  $Q=0,03917\text{ m}^3/\text{s}$  y  $AL=1190\text{ msnm}$  (febrero 8 de 2000 a las 9:38 h).

Aguas abajo por la margen derecha después del camino que está a 5170 m, encontramos un yucal que va hasta 5240 m donde hay un nacedero y una toma de agua en manguera de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro. Hasta el siguiente camino que está a 5880 m, solo encontramos muy pocos árboles al borde del cauce, lo demás son rastrojos con algunos arbustos y pastos, hay un platanal entre 5260 y 5400 m y otro cerca al camino a 5860 m. Las pendientes son del 15% al 25% entre 5170 a 5500 m, del 85% entre 5500 a 5880 m, sobre la loma que bordea el cauce las pendientes son del 80%. En 5320 m se midió caudal de la quebrada La Chapa y obtuvimos:  $A=3,563\text{ m}$ ,  $P=0,265\text{m}$ ,  $V=0,490\text{ m/s}$ ,  $Q=0,37041\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $S=4,2\%$ ,  $S_{5380}=19,3\%$ , L.A.,  $C_1$  y  $C_2 = 3,7, 6,0$  y  $12,6\text{ m}$  respectivamente.

Este tramo se caracteriza porque hay bastantes caídas de agua: en 5380 m (altura de 1,35 m en 7 m de longitud), entre 5410 a 5445 m hay una caída de 1,7 m en un lecho rocoso de color verde, de 5540 a 5580 m hay peña, lecho rocoso de color rosado y 3 pequeñas caídas de agua en 5590 m, hay otra caída de 0,80 m en 5600 a 5620 m hay peña. En 5640 a 5680 m hay caídas de agua de 0,95 y 0,80 m, hay caída de 1,40 m en 13 m de longitud en 5692 m; de 5700 a 5760 m, encontramos otra peña (pared del cauce y del lecho son rocosos), en 15 m se forman 3 canales en la roca por donde pasa el agua de la quebrada raudamente ( $S=9,3\%$ ), en 5800 m el lecho también es rocoso y hay caída de agua de 1,80 m en 10 m de longitud ( $S=18\%$ ). Además de las caídas y peñas encontramos 2 piedras grandes en 5360, lo mismo que entre 5600 a 5620 m, otra en 5710 m. Hallamos también 2 islotes uno entre 5400 a 5440 m compuesto por piedras, sedimentos y árboles y otro de 5830 a 5870 m compuesto también por rocas, sedimentos y árboles, hay un derrumbe a 5840 m de 35 m de altura y 90% de pendiente.

Por la margen izquierda después del camino hay un cafetal con algunos árboles de cacao (*Theobroma Cacao* L.) en la loma, a continuación encontramos un yucal. Al borde del cauce en la parte plana (20%) hay un guadual y luego pocos árboles, en pequeños tramos encontramos caña brava (5620 a 5660 y 5580 a 5600 m); hallamos guadual entre 5520 a 5540 m. En la loma hay pastos y rastrojos paralelos a los anteriores. Encontramos derrumbe en 5300 y en 5330 m una línea de agua que entra a la quebrada, en 5360 m hay 3 piedras grandes, dos del lado derecho y otra de la margen izquierda, en 5480 m entra una línea de agua residual que viene de la vereda Cachimbal (rallanderías No. 19 y 20 y aguas negras de las casas), de 5600 a 5870 m la quebrada corre casi toda por esta margen izquierda del islote formado por un lecho rocoso de color vino tinto.

Por la margen derecha después del puente de guadua que está a 5888 m, encontramos un camino que comunica casa de este lado con casa del lado izquierdo, después del camino hay sembrado al pie del cauce primero plátano y después maíz hasta 6020 m, en este sitio también entra una línea de agua limpia ( $Q=0,005\text{m}^3/\text{s}$ ). Después encontramos un angosto bosque de ribera que se va haciendo cada vez más estrecho hasta desaparecer en 6200 m y entonces el pasto que hay en las lomas (pendientes de 75% al 80%) invaden el borde mismo del cauce, en este tramo el terreno llano llega a tener hasta 100 m de ancho, aguas abajo hallamos un pequeño bosque (6280-6320 m) y a continuación un yucal que llega hasta el camino que atraviesa la quebrada en 6440 m. En este tramo hallamos 3 rocas grandes (6050 m) donde hay bastante acumulación de sedimentos y pasto dentro del cauce, en 6130 m entra una línea de agua y en 6260 a 6350 m vuelven aparecer 3 rocas grandes dentro del cauce. Entre 6300 a 6320 m hay un islote compuesto por piedras, sedimentos, pastos y un carbonero (*Pithecolobium saman*).

Por la margen izquierda aguas abajo y después del camino (5880 m), hay un pequeño bosque con guadua hasta 5940 m, en 5950 m hallamos caída de agua de 3,18 m en 7 m de longitud y el lecho del cauce es rocoso de color vino tinto, en este sitio se presentan derrumbes de 15 m de altura y 85% de pendiente. Posteriormente aparece un angosto bosque que se hace bastante estrecho y desaparece (5060-5080 m) para dar paso al pasto que hay en todas las lomas que bordean el cauce, de 5060 hasta 6220 encontramos un terreno llano (15% de pendiente) con un ancho máximo de 60 m sembrado en pasto. De 6220 a 6400 m encontramos rastros y desde aquí hasta el camino hallamos unos pocos árboles bordeando el cauce, entre 6400 a 6420 m la pared del cauce es rocosa, en 6240 m (sitio de muestreo 21B) cae el agua residual y el agua que recoge la alcantarilla que pasa por la rallandería No.21 (de propiedad de Oscar López). En 6180 m (sitio de muestreo 21A) medimos caudal de la quebrada La Chapa:  $A=3,30\text{m}$ ,  $P=0,377\text{ m}$ ,  $V=0,425\text{ m/s}$ ,  $Q=0,42299\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $AL=1155\text{ msnm}$ ,  $S=3,9\%$ ,  $S_{5410-5455}=4,9\%$ ,  $S_{5590}=26,7\%$ , lecho rocoso rosado;  $S_{5640}=45\%$ ,  $S_{5680}=11,7\%$ ,  $S_{5740}=9,3\%$ , lecho rocoso;  $S_{5800}=18\%$ , L.A.,  $C_1$  y  $C_2=3,9, 5,5$  y  $10,5\text{ m}$  respectivamente.

En el tramo que va desde 6440 a 7040 m encontramos cinco caminos que atraviesan por el cauce de la quebrada y comunican con ambas márgenes: 6440, 6650, 6690, 6790 y 7070 m. Por la margen derecha hallamos: De 6460 a 6480 m un islote compuesto por piedras, sedimentos, dos palmas de corozo (*Aiphanes lindeniacea*, los racimos llevan numerosos frutos esféricos, rojos cuando están maduros y que miden más o menos 2 a 2,5 centímetros de diámetro).y arbustos, también hay dos árboles grandes uno sobre la orilla y el otro sobre una roca, en 6605 m hay también un gigantesco árbol sobre la orilla arrojando una roca, en 6720 m entra una lámina de agua, de 6900 a 6920 m islote compuesto por sedimento, piedras y árboles de nacedero (*Trichanthera gigantea*), carbonero y corozo; los sedimentos han taponado el lado derecho y el agua está corriendo casi toda por el izquierdo, hay depósito de materiales y sitio para beber de los animales en 7020 m y erosión del cauce en 7030 m. Hallamos en esta margen que aledaño al cauce el terreno es llano (15 a 25% de pendiente), que hay árboles al borde del cauce, hay plátano sembrado (6660-6720 m), caña brava (6760 a 6780 m), guadua (6800 a 6820 m) y luego un pequeño bosque de ribera (6880 a 7020 m). En 6780 m medimos caudal:  $A=4,55\text{ m}$ ,  $P=0,161\text{ m}$ ,  $V=0,593\text{m/s}$ ,  $Q=0,34753\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $AL=1143\text{ msnm}$ ,  $S=2,3\%$ , L.A.,  $C_1$  y  $C_2=5,0, 8,5$  y  $14,5\text{ m}$  respectivamente (febrero 9 de 2000 a las 9:30 h).

Por la margen izquierda encontramos: línea de agua que entra al cauce (en 6600 y 6770 m), peña (6040 y 6050 m), puente (6660 y 6790 m), sedimentos (6720 m), deslizamientos de 15 m de altura y 85% de pendiente (de 6840 a 6860 m). Hallamos después del camino (6440 m), caña brava y en el terreno llano con pendientes hasta del 15% está sembrada de pastos hasta 6860 m, a partir de este punto hasta los 7040 m, hay un angosto bosque de ribera y paralelo a él rastrojo. En 6960 m se midió caudal:  $A=4,375$  m,  $P=0,251$  m,  $V=0,444$  m/s,  $Q=0,39008$  m<sup>3</sup>/s (febrero 9 de 2000 a las 10:20 h).

Para el tramo que va desde 7040 a 8160 m encontramos cinco puentes en guadua que comunican con caminos que atraviesan la quebrada: 7040, 7680, 7805, 7900 y 8160 m; un puente de concreto por donde pasa una vía que comunica con la Panamericana (7300 m). Por la margen derecha hallamos: guadua (7040-7160 m), pastos y rastrojos (hasta puente de concreto), después del puente hay dos casas al borde del cauce con sembradío de plátano, a su alrededor dos piedras grandes (7360 m), guadua y plátano (7360 a 7440 m), guadua (7580 m), pastos (7720 m), guadua (7.880 m) guadua y pocos árboles (8000 m), pastos y yuca (8100 m), caña brava (8160 m). También encontramos de 7500 a 7520 m y de 7740 a 7760 m pared rocosa (peña) y en 7600 m entra una pequeña línea de agua limpia al cauce. Entre 7560 a 7580 m hay casas cerca al cauce, paralela a la zona donde hay pasto (7580 a 7720 m) hay una loma sembrada en plátano y mango (*Mangifera indica*, Linn.; anacardiaceae), en 7805 hay un camino y cerca al cauce una casa con cafetal al lado del guadua, entre 7960 a 8020 m hay una loma que se aproxima al borde del cauce y está sembrada en yuca.

Por la margen izquierda hallamos: platanal (de 7040-7160 m), mandarinas (*Citrus reticulata*), naranjas (*Citrus sinensi* L. Osbeck; *Citrus aurantium* var. *sinensis*; *Citrus bigardia* Riss.) y plátano (hasta 7220 m), árboles y pastos (7340 m), guadua (7500 m), pastos (7540 m), guadua (7700 m), pastos (7780 m), plátano y café (7840 m), guadua (7900 m), rastrojo y caña brava (7960 m), guadua (8040 m), plátano sembrado cerca de dos casas que están muy cerca al cauce (hasta 8120 m), luego caña brava hasta el camino (8160 m). Las pendientes son bajas (entre 12 y 18%), en las lomas que bordean el cauce son del 80% y en algunas ocasiones llegan hasta el borde mismo del cauce (7960 m), paralelo a los guaduales hay rastrojos en las lomas. Se presenta derrumbe en 7940 m de 25 m de altura y pendiente del 85%, hay otra casa a 7980 m. Medimos caudal en 7700 m y encontramos:  $A=4,575$  m,  $P=0,193$  m,  $V=0,590$  m/s,  $Q=0,41696$  m<sup>3</sup>/s,  $S=2\%$ ,  $AL=11450$  msnm, L.A.,  $C_1$  y  $C_2=4,8, 5,4, 10,3$  m respectivamente (febrero 9 de 2000 a las 11:25 h<sup>1</sup>).

El tramo que va desde 8160 m a 8960 m es el último porque en este punto la quebrada la Chapa se une con el Río Mandivá encontramos que es atravesada la quebrada por dos carreteras en 8220 m y 8590 m que comunican con la Panamericana y cuatro puentes en guadua que unen caminos que comunican con la Panamericana (8160, 8580, 8680 y 8885 m). En 8640 m hay un puente en concreto que une un corral con una casa de una finca. Por la margen derecha hallamos: caña brava (8160 a 8200 m), pocos árboles y rastrojos (8560 m), guadua (8620 m), pastos y pocos árboles (8780 m), guadua (8820 m), frutales y pocos árboles (8860 m), guadua (8920 m) y pocos árboles y pastos (8950 m). En 8230 m, entra una pequeña línea de agua limpia al cauce, entre 8240 y 8260 m hay peña, de 8460 a 8480 m hay acumulación de sedimento (playa) y dos rocas grandes en cada orilla, de 8640 a 8660 m el terreno es cenagoso, de 8700 a 8720 m hay una playa de piedras,

en 8780 m hay una casa cerca al cauce rodeada de frutales, de 8840 a 8860 m hay otra playa de piedras y sedimentos, lo mismo que de 8880 a 8920 m.

Por la margen izquierda encontramos: de 8160 a 8220 m rastrojos, mangos (entre la carretera y la quebrada Abejonales (8240 m), en este sitio medimos el caudal y hallamos:  $A= 2,867$  m,  $P=0,124$  m,  $V=0,685$  m/s,  $Q=0,19496$  m<sup>3</sup>/s,  $S= 1,5\%$ , L.A,  $C_1$  y  $C_2=2,10, 6,8$  y  $11,7$  m. (febrero 9 de 2000 a las 14:13 h). Caña brava (de 8250 a 8300 m), casi en el cauce está la rallandería No. 25 (propiedad de Ferney Quinaguas) de 8300 (sitio de muestreo 25A) a 8320 m, en este último punto entra el agua residual de la lavadora al cauce, en 8340 m entra el agua residual de los canales de esta rallandería al cauce (sitio de muestreo 25B), en 8350 a 8360 m entra al cauce de la quebrada el agua residual de la casa y rallandería No. 26 (de propiedad de Celedonio Quinaguas) que también está pegada al cauce, en 8380, 8410 y 8430 m entran aguas residuales de tres casas que están muy cerca del cauce, en 8460 m hay muro de contención de la carretera Panamericana, en 8480 y 8500 m hay dos casas y entran dos tuberías de aguas residuales de éstas, hay dos rocas grandes en cada orilla y peña. De 8500 a 8520 m hay acumulación de piedras y una casa al pie del cauce, de 8520-8600 m hay pasto y pocos árboles, en 8580 m hay puente en guadua y camino que sale a la Panamericana. De 8600 a 8620m hay casa y de 8640 a 8680 m está la casa de la finca y el puente de concreto, de 8720 a 8780 m hay tres casas muy cerca del cauce que también vierten sus aguas residuales a la quebrada, de 8780 a 8800 m hay un gradual. Luego hay plátano (8820 m), a continuación unos pocos árboles, en 8860 hay una casa y guadua hasta 8900 m donde hay un rápido, en 8920 m encontramos peña y de 8940 a 8950 m encontramos casas y deslizamientos. Medimos caudal a 8960 m y encontramos:  $A=9,57$  m,  $P=0,318$  m,  $V=0,311$  m/s.  $Q=0,75710$  m<sup>3</sup>/s,  $S=0,78\%$ , L.A.,  $C_1$  y  $C_2=10,4, 13,0$  y  $18,0$  m (febrero 9 de 2000 a las 14:50 h). También se midió el caudal del Río Mandivá 40 m antes de la desembocadura y hallamos:  $A=4,925$  m,  $P=0,331$  m,  $V=0,411$  m/s,  $Q=0,53638$  m<sup>3</sup>/s,  $S=0,78\%$ , L.A.,  $C_1$  y  $C_2=4,7, 15$  y  $50$  m.

## 8.2.4 QUEBRADA TIEMBLA

La quebrada Tiembla nace en la vereda Mondomito entre las carreteras que del Turco va a Mondomo y la de Mondomito a la vereda Cascabel (Fig. 7). Cerca al casco urbano de la vereda Mondomito nacen 3 líneas de agua que drenan a la parte baja de la loma, por la margen derecha y paralela a la carretera que va a Cascabel hay otras líneas de agua que se une con la primera que viene del casco urbano de Mondomito, luego aguas abajo 2 líneas de agua se unen a otras 2 líneas de aguas por la margen izquierda. En enero 26 se midió caudal ( $Q_1$ ) antes que otras 3 líneas de agua de la margen izquierda se unieran ( $Q_2$ ).

Es en este sitio a 1420 msnm donde podemos decir que nace la quebrada Tiembla (en las escrituras antiguas figura como Tiemblaculo). Es un lugar con poca pendiente (1,12 %) el terreno es cenagoso y tiene una pequeña laguna. Las 7 líneas de agua de la margen izquierda y 1 de la derecha conforman el  $Q_1 = 0,01706 \text{ m}^3/\text{s}$ , las siguientes tres líneas conforman el  $Q_2 = 0,00057 \text{ m}^3/\text{s}$  y los dos juntos conforman el caudal inicial de la quebrada que es de  $Q = 0,01898 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $A = 0,77 \text{ m}$ ,  $P = 0,083 \text{ m}$ ,  $V = 0,297 \text{ m/s}$ ,  $S = 1,12\%$  y  $AL = 1420 \text{ msnm}$  ( $Q =$  caudal,  $A =$  ancho,  $P =$  profundidad,  $V =$  velocidad,  $S =$  pendiente,  $AL =$  altitud).

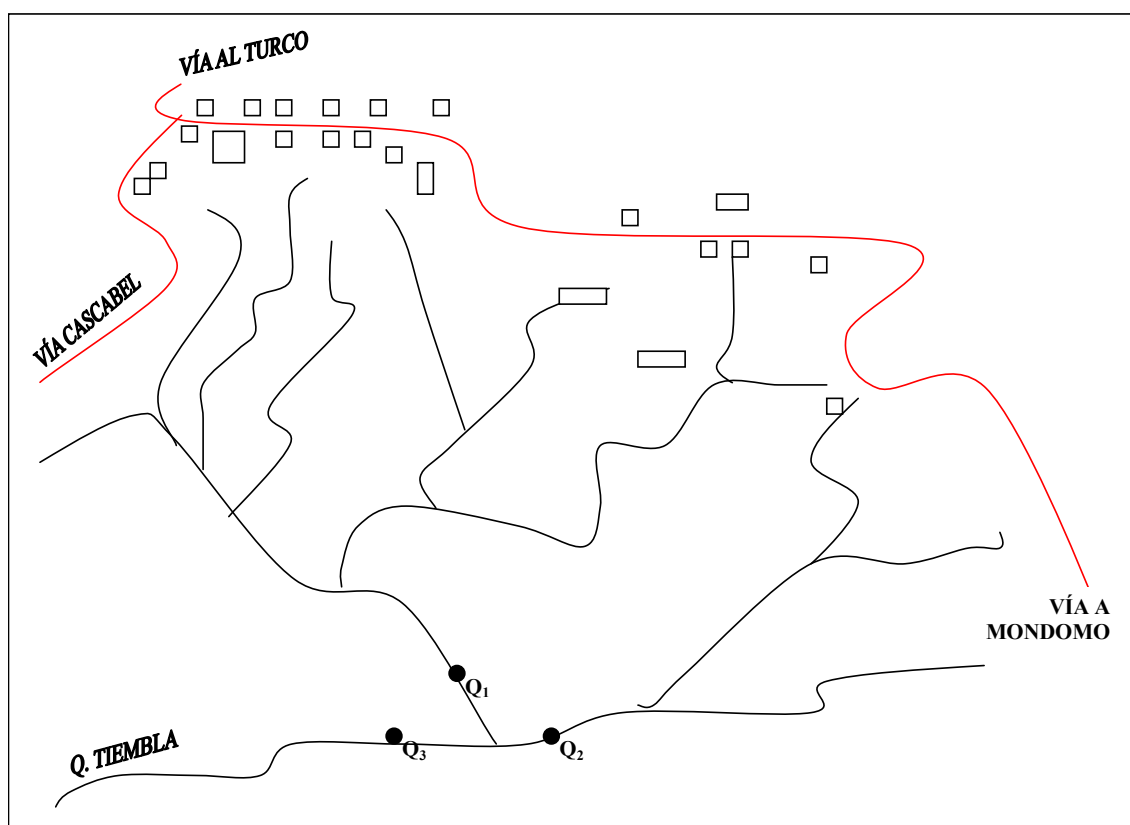


Figura 7. Nacimiento de la quebrada Tiembla, en la vereda Mondomito. Podemos observar en rojo las carreteras a Mondomo y Cascabel y en los cuadrados y rectángulos, las casas que están a lado y lado de las carreteras. Las líneas curvas en negro son las fuentes de agua;  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  son los sitios donde se midieron caudales.

En el nacimiento de la quebrada predominan pequeños bosques alrededor de las 3 últimas líneas de agua y la 1 de la derecha en las otras 7 líneas (de la izquierda) son muy pocos los árboles que quedan y hay más potreros (Terrenos dedicados al ganado vacuno) y rastrojos. Hay 4 manchas de

guadales (Hallada en estado natural en Colombia, Ecuador y Venezuela e introducida con éxito en algunos países de Centroamérica, el Caribe y Asia, esta especie es el tercer bambú más grande del mundo superado únicamente por dos especies asiáticas; alcanza los 30 metros de altura y los 22 centímetros de diámetro y en nuestro país se han identificado dos variedades que también son únicas: *La Guadua angustifolia bicolor* y *Guadua angustifolia Nigra*), 1 yucal y 2 cañaduzales (*Saccharum officinarum*). Las pendientes de estas lomas (alturas pequeñas y prolongadas), oscilan entre 45 % y 75 % para la parte medía y alta y de 25 % a 35 % para la parte baja por donde va el cauce de la quebrada. Hay alrededor de 20 casas en la parte alta donde comienzan a formarse las 11 líneas que conforman la quebrada (Figura 6). Hay aproximadamente 9 propietarios radicados en esta zona con 200 ha (4 de la familia Chávez, 2 de la familia Fernández).

En los primeros 200 m de recorrido de la quebrada encontramos pendientes del terreno próximo al cauce por la margen derecha entre 60 % y 84 %, por el izquierdo entre 65 % y 70 %; pero alrededor del cauce una parte plana inundable (33 m aproximadamente) cubierta por pasto y rastrojo y unos pocos árboles. Hay un puente de guadua de 23 m y al lado derecho en la loma hay café (*Coffea arabica*) y en el izquierdo maíz (*Zea mays*); el resto de potreros y rastrojos.

De los 200 m a 400 m por el lado izquierdo, sigue un cultivo de maíz con pendientes que van desde 80-85 % con un pequeño bosque alrededor del cauce (aprox. 10 m), que desaparece a los 380 m del nacimiento, para dar paso a un rastrojo. Por la margen derecha continua el pasto, la llanura inundable y el terreno cenagoso. Después de la zona cenagosa hay pocos árboles, rastrojos y potreros. A 300 m cae a la llanura una línea de agua de  $Q = 0,0015\text{m}^3/\text{s}$  que forma una pequeña laguna, esta línea de agua atraviesa un potrero y tiene árboles alrededor de su cauce. La pendiente del terreno en este lado oscila en 86 % y 85 %.

De los 400 a los 460 m del nacimiento, encontramos en la margen izquierda un rastrojo y luego pasto, aguas abajo también cubierto por agua, las pendientes del terreno aledañas al cauce son del 70 % aprox. y están en maíz. En la margen derecha continua la llanura anegadiza (aprox. 25 m), las pendientes aledañas son del 75 % y están en potreros, sólo hay unos pocos árboles donde termina la loma.

En enero 26 se midió caudal a los 420 m encontrando:  $A = 0,473$  m,  $P = 0,083$  m,  $V = 0,386$  m/s,  $Q = 0,01364$  m<sup>3</sup>/s y  $S = 6,6$  %. En este tramo el agua va con más velocidad, se ve correr más raudamente. A los 460 m, encontramos (medición hecha en enero 26 de 2000 a las 14:20 h):  $A = 1,207$  m,  $P = 0,085$  m,  $V = 0,218$  m/s y  $Q = 0,02012$  m<sup>3</sup>/s, L.A.= 1,32 m,  $C_1 = 2,10$  m y  $C_2 = 7,5$  m (L.A.= Lámina de Agua,  $C_1$  = Ancho del cauce de avenida máxima anual,  $C_2$  = Ancho del cauce avenida extraordinaria que se presenta cada 50 años por lo menos).

De los 460 m en adelante el cauce se profundiza, desaparece la llanura de inundación y aparecen árboles al pie del cauce. Continua en la margen izquierda los cultivos de maíz con árboles y caña brava (*Gynerium sagittatum*) al borde del cauce, se presentan deslizamientos de tierra que van a la quebrada con árboles. En la margen derecha hay árboles al pie del cauce hasta un poco antes donde están los deslizamientos y de allí hasta los 600 m aguas abajo hay rastrojo.

De los 600 m a los 800 m aguas abajo, continua por la margen derecha los rastrojos (50 m aprox.), para luego continuar con un pequeño bosque por toda la ribera del cauce con pendientes que

oscilan entre 54 % y 60 % donde hay establecidos potreros. En la margen izquierda termina el cultivo de maíz aparece un lote de pasto de corte. Hay también rastrojos y una pequeña mancha de bosque que viene desde la carretera (que va de Mondomo al Turco) hasta el cauce de la quebrada, a lado y lado de esta pequeña mancha hay potreros pero ya al pie del cauce hay rastrojo y algunos árboles hasta llegar a los 800 m. De aquí hasta los 880 hay maíz, plátano en un lote que tiene 15 % de pendiente y luego un cafetal que sube por la loma (55 % de pendiente). En la margen izquierda hay al pie del cauce un pequeño bosque de ribera (13 % pendiente) y en la loma potreros. A 820 m hay empalizada y acumulación de sedimentos (de este último hay también a 800 m y 845 m). En febrero 10 a las 9:00 h se midió caudal a 800 m del nacimiento y se encontró:  $A = 1,158$  m,  $P = 0,067$  m,  $V = 0,315$  m/s,  $S = 0,7$  %,  $L.A. = 1,25$  m,  $C_1 = 3,90$  m,  $C_2 = 10,0$  m y  $Q = 0,022$  m<sup>3</sup>/s.

A los 900 m en la margen izquierda hay derrumbe y empalizada (árboles que han caído dentro del cauce y obstruyen el paso del agua). De allí hasta los 1040 m bosque de ribera en ambos márgenes, acumulación de sedimentos en 980 m, hay línea de agua con  $Q = 0,006$  m<sup>3</sup>/s (Figura 7), en 1045 m, sedimentos: en ambas márgenes a 1060 m, en margen derecha a 1105 y 1203 m, en margen izquierda a 1180 m. En 1080 hay puente y camino en ambas márgenes. En 1100 hay una empalizada que forma laguna hasta el puente, hay rastrojo en la loma paralelo a los cultivos que están al borde del cauce (pendiente 65 %), de 1045 hasta 1220 m encontramos sembrado de plátano (*Musa paradisiaca*), luego hay yuca y plátano (1260 m) y sólo yuca hasta los 1300 m pero esta llega hasta la loma (pendiente del 65 %). Por esta misma margen hay derrumbes a 1270 m y acumulación de sedimentos a 1300, 1340, 1380, 1460, 1480, 1500 y 1520 m, hay acumulación de sedimentos en ambas márgenes a 1320 m y en la margen izquierda a 1455, 1490, 1500 y 1660 m. El lecho es rocoso entre 1360 y 1400 m, en 1460 hay puente de guadua y camino en ambas márgenes, lo mismo a 1650 m pero el puente es más ancho y relleno con tierra. En 1640 m, cae agua residual de Antonio Ortega de la rallandería No 38, de 1580 a 1637 m, es el área donde se recolectaron muestras de macroinvertebrados, de aguas para análisis fisicoquímico y de comunidades vegetales (sitio conocido como 38A en el estudio de Contaminación y toxicidad de las aguas residuales de las rallanderías del Norte del Cauca, Colombia), de 1660 m a 1700 m, es el área donde se recolectaron muestras de macroinvertebrados, aguas y comunidades vegetales (sitio conocido como 38B en el estudio).

Por la margen izquierda hay pocos árboles y el terreno al pie del cauce es casi plano (13 % pendiente), aunque en la loma las pendientes son hasta del 60 %. Desde los 1620 m hasta los 1720 m hay sembrado café en ambos márgenes pero en la margen derecha desde 1650 hasta 1700 m hay guadua como sombrío del café. En febrero 10 a 1760 m se midió caudal y se encontró:  $A = 1,915$  m,  $P = 0,143$  m,  $V = 0,269$  m/s,  $Q = 0,0663$  m<sup>3</sup>/s,  $S = 4,44$  %,  $AL = 1360$  msnm,  $L.A. = 2,10$  m,  $C_1 = 4,10$  m y  $C_2 = 12,30$  m.

Acumulación de sedimentos en ambos márgenes a 1740 m y 1765 m y en la derecha a 1755 m hay carretera y puente a 1780 m, en la margen derecha hay lago de peces y casa, lo mismo que cafetal, este continua hasta los 2000 m, en 1840 m hay caña panelera (*Saccharum robustum*). Se trata de una especie botánica originaria de Nueva Guinea e islas vecinas, Filipinas, Hawái, Las Molucas, Borneo, Sumatra, Malaya, Indochina, Birmania, La India, Las Islas Salomón, Las Nuevas Hébridas, Fiji, Raiatea, Tahití, Persia, Egipto. En España y Colombia se introduce al rededor del año 1570. Se dice que Alejandro Magno, cuando con sus tropas conquistaron La India en 337 a.c., probó

por primera vez la caña, para llevarla posteriormente de regreso a Persia. Asia y América son los continentes de "LA PANELA" (producto resultante de las mieles de la caña panelera)

En el m 1860 entra línea de agua de  $Q = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}$  y hay árboles de eucalipto. Este árbol es fuente de madera y entre sus más de 600 diferentes especies diseminadas por el mundo, la *Eucalyptus globulus* es la de mayor fama. En 1920 hay casa cerca al cauce (40 m), en 1960 entra línea de agua ( $Q = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ ), en 2100 hay empalizada y a partir de 2180 m hasta 2360 m hay caña panelera cerca al cauce, en 2415 hay empalizada (se presenta estancamiento de 100 m) y a partir de allí hasta 2520 hay rastrojo al borde del cauce.

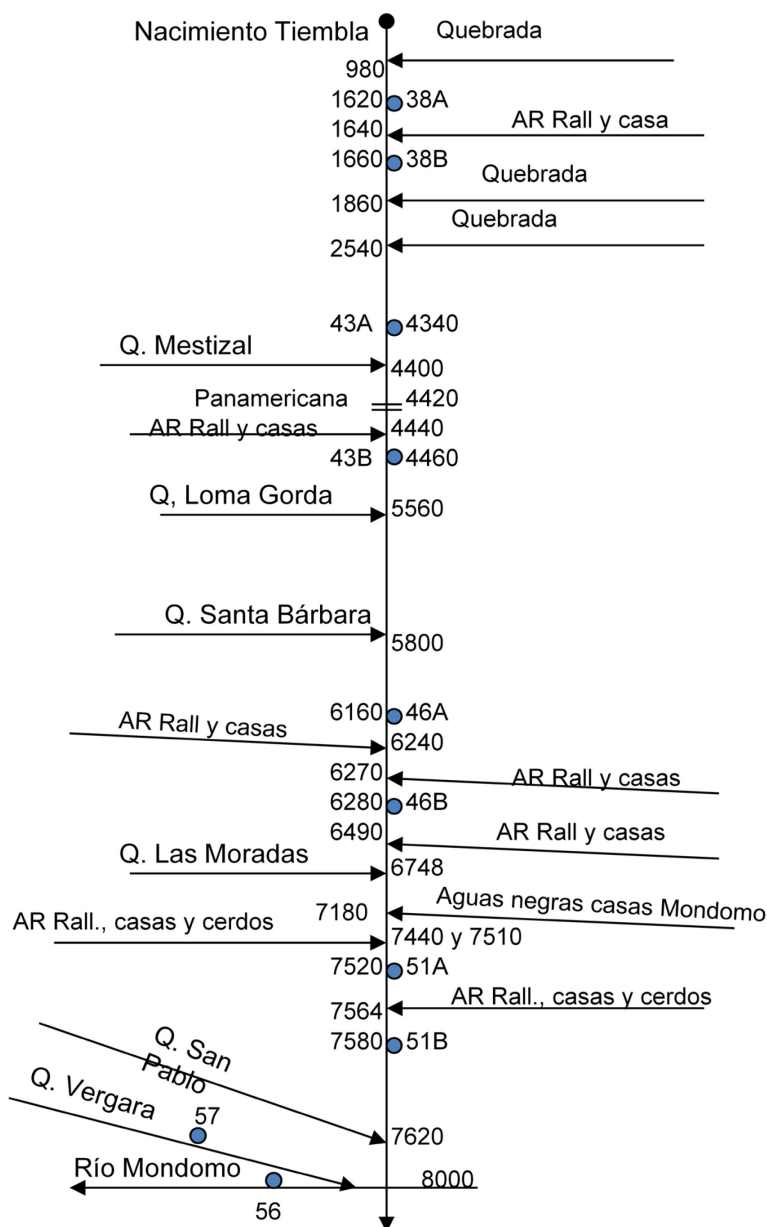


Figura 8. Diagrama de entradas de corrientes de aguas, aguas residuales y sitios de muestreo en la quebrada Tiembla.

En la margen izquierda hay potrero al borde del cauce desde 1740 m hasta 1820 m, después hay un bosque de guadua que va desde los 1820 m hasta los 1900 m (alcanza los 30 m de altura y los 22 cm de diámetro). En nuestro país se han identificado dos variedades que también son únicas: La *Guadua*

*angustifolia bicolor* y *Guadua angustifolia nigra*. A partir de aquí hasta los 2060 m hay café y plátano, a continuación hay otro bosque de guadua que va hasta 2140 m, luego unos pocos árboles y potrero hasta 2260 m, a partir de aquí y hasta 2480 m hay cafetal en medio de un pequeño bosque con pocos árboles, a continuación hay guadua hasta los 2560 m. En la loma que bordea al cauce hay sembrada yuca desde los 1780 m hasta los 2100 m, luego hay rastrojo hasta los 2540 m a esta misma distancia desemboca una línea de agua ( $Q = 0,01465 \text{ m}^3/\text{s}$ , en febrero 10 de 2000 a las 13:50 h), a 2120 m también cae otra línea de agua que tiene árboles a lado y lado de su cauce ( $Q = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $V = 0,283 \text{ m/s}$ ,  $A = 0,775 \text{ m}$  y  $P = 0,074 \text{ m}$ ).

El 10 de febrero a las 14:20 h se midió caudal en el sitio a 2560 m del nacimiento y encontramos:  $A = 1,60 \text{ m}$ ,  $P = 0,208 \text{ m}$ ,  $V = 0,299 \text{ m/s}$ ,  $Q = 0,08975 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $S = 1,18 \%$ ,  $L.A. = 2,20 \text{ m}$ ,  $C_1 = 3,50 \text{ m}$  y  $C_2 = 7,20 \text{ m}$ .

En la margen derecha desde 2520 hasta 3380 m hay al borde del cauce aguas abajo un pequeño bosque de ribera con pocos árboles (ancho promedio 14 m), a continuación esta la loma con pendientes de hasta 75 % y están en potreros, algunos lotes en rastrojos. De 3380 hasta 3580 m hay un gradual en ambas márgenes y a continuación hay potreros que llegan hasta el borde mismo del cauce, hasta los 4060 m, en 2680 m hay empalizada lo mismo que en 3680 m (residuo de guadua), en 3790 y 3580 m hay empalizada grande con bastantes sedimentos. Entre 3360 m y 3680 m lo mismo que en 3440 m y 3350 m hay depósitos de sedimentos, en esta margen derecha hay pendientes de hasta 75 % (entre 2560 y 3500 m) pero a partir de aquí los bordes que rodean el cauce son planos y los potreros llegan hasta el borde mismo de la quebrada (en la loma en la parte alta esta la casa de la Familia Velasco). En 3370 m hay bebedero para ganado.

En la margen izquierda a partir de los 2580 y hasta los 3000 m hay al borde del cauce pequeño bosque de ribera con pocos árboles grandes, café y piñuela (*Bromelia pinguin*, es una hierba con tallo rastrero; estolonífera, con numerosas hojas amontonadas, de porte rígido de 1-2 m de longitud y con ancho de 3-6 cm, de color verde claro y con los márgenes armados con robustos agujones ganchudos. Su inflorescencia es un racimo compuesto con el tallo de color blanco. Su fruto consiste en una baya de forma ovoide, amarilla terminada en un pico. Son una de las plantas más fáciles de reconocer porque son las que contienen una mayor cantidad espinas y muy característica de los hábitats caducifolios).

A partir de allí y hasta 3840 m hay potreros para luego continuar con un gradual que tiene café hasta los 3940 m, de allí hasta los 4020 m es potrero. Hay bebedero para ganado en 2550 m y 2800 m, pero a partir de los 3580 m el ganado puede arrimar al cauce a beber porque los potreros llegan al borde del cauce. Hay acumulación de sedimentos en esta margen izquierda en 3340 m y 3450 m, en 2720 m hay camino por ambas márgenes y en 4020 m hay puente en concreto y carretera que va desde la casa de la familia Velasco hasta la Panamericana (vía que atraviesa a Colombia de norte a sur y que comunica a los países de América desde México hasta Argentina); desde 2560 hasta 2940 m la pendiente al borde del cauce es hasta el 70 % y a partir de allí se consiguen pendientes del 15 % (2980 m); 39 % (3600 m) y 22 % (3980 m). A 2700 m del nacimiento de la quebrada tiembra encontramos árbol grueso que hace una e sentada (árbol majestuoso que con su tronco parece dibujar el signo de la paz), entre 2920 m y 2960 m se presenta lecho rocoso y pequeñas caídas de agua, entre 2980 m y 3000 m también hay lecho rocoso, en 3080 m entra línea de agua ( $Q = 0,0015$

m<sup>3</sup>/s). A 4005 m del nacimiento, el 11 de febrero de 2000 a las 7:51 h se midió caudal y se encontró: A = 1,692 m, P = 0,2706 m, V = 0,332 m, Q = 0,13680 m<sup>3</sup>/s, S = 1,14 %, L.A. = 1,43 m, C<sub>1</sub> = 5 m y C<sub>2</sub> = 20 m.

Por la margen derecha entre 4060 m y 4100 m hay un cafetal, entre 4100 m y 4200 m hay pasto de corte (*Pennisetum violaceum*; es decir, es de la familia de los elefantes. Es originario de África y entró a América Latina por Brasil), caña panelera y tomatera (*Solanum lycopersicum*); entre 4260 y 4320 m hay un guadual con pasto en ambas márgenes, en 4340 se encuentra el sitio de muestreo 43A, luego hay sembrado plátano hasta 4360 m, en 4400 m cae a la quebrada tiembla la quebrada Mestizal (nace entre las veredas La Chapa y El Llanito, PG = N02° 54' 43,8" y W076° 33' 37,7" (PG = Posición Geográfica), que recoge todas las aguas residuales de las casas del Llanito lo mismo que de las 5 rallerías que allí se encuentran, de aquí hasta 4440 m hay casas al borde del cauce (algunas a menos de 5 m).

En 4420 m está localizado el puente sobre la Panamericana y entre 4450 m y 4520 m hay un maizal al borde del cauce, en 4460 el sitio de muestreo 43B (Fig. 8), a partir de aquí hay un guadual hasta 4560 m (sólo 10 m de ancho y a continuación un potrero), posteriormente hay potrero con algunos árboles hasta 4780 m donde aparece un guadual hasta 4840 m (con potrero a continuación) luego aparece rastrojos pastos y un cafetal (hasta 5000 m); posteriormente vuelven a aparecer los potreros hasta 5240 cuando vuelven a aparecer un pequeño bosque de ribera con pocos árboles y guadua entre estos hasta 5420 m, aparecen los potreros hasta 5520 m, encontramos caña brava desde 5540 hasta 5740 m, hay potreros al borde del cauce. Las pendientes van desde el 16 % hasta 25 % en esta margen, con excepción entre 4960 y 5040 m que es de 40 % y entre 5240 y 5400 m donde se encuentran pendientes de hasta 75 %. En 4790 m hay una empalizada grande que forma una represa lo mismo que caída de agua y desde 4600 m las aguas se ven quietas, a 4990 m y 4220 m hay otras empalizadas, entre 4880 m y 4900 m lo mismo que entre 5680 m y 5700 m, los terrenos al borde del cauce son cenagosos y entra agua al cauce de la quebrada.

En la margen izquierda encontramos que a partir de 4040 m hasta los 4130 m hay un guadual al borde del cauce y las aguas de la quebrada se ven quietas por efecto de una empalizada (4180 m), posteriormente hay plátano, luego hay guadual hasta 4320 m pero está muy ralo y prácticamente lo han acabado, hay construcciones cerca al cauce y un potrero que va hasta la Panamericana (4420 m). Después del puente hay guadual hasta 4480 m, a continuación pequeña plantación de plátano y bosque ralo de ribera hasta 4620 m, luego hay un cafetal hasta 4720 m, posteriormente aparece otra vez guadua hasta 4800 m y continua bosque de ribera hasta 5040 m, en esta parte también se observan las aguas quietas (desde 4980 hasta 4900 m). En 5047 m hay puente y potreros al pie del cauce hasta 5220, después hay bosque de ribera con pocos árboles hasta 5320, aparecen nuevamente los potreros hasta 5560 m sitio donde desemboca la línea de agua que nace en la finca de los Mosquera denominada "Loma Gorda" (A = 0,854 m, P = 0,121 m, V = 0,224 m/s, Q = 0,0209 m<sup>3</sup>/s, S = 0,25 %, L.A. = 0,80 m, C<sub>1</sub> = 3 m y C<sub>2</sub> = 9,30 m) (medición hecha 11 de febrero de 2000 a las 10:42 h), a partir de aquí vuelve a haber un bosque de ribera con pocos árboles hasta 5640, aparece entonces rastrojo hasta 5700 m y a partir de allí hasta 5760 m hay un guadual al borde del cauce.

En este tramo que va desde los 4000 m hasta los 5740 m por esta margen izquierda la pendiente está en su mayor parte entre el 22 % y 45 % con excepción de algunos tramos como entre 4440 m y 4620 m (de hasta 65 %), entre 4800 m y 5000 m (hasta del 80 %), lo mismo que entre 5220 m y 5320 m, entre 5420 m y 5460 m y entre 5560 m y 5760 m. En 5313 m hay puente de guadua y camino lo mismo que en 5680 m donde un árbol grande sirve de puente. En febrero 11 de 2000 a las 11:33 h y a 5740 m del nacimiento de la quebrada Tiembla se midió el caudal y se encontró:  $A = 1,886$  m,  $P = 0,181$  m,  $V = 0,682$  m/s  $Q = 0,20947$  m<sup>3</sup>/s,  $S = 1,39$  %, L.A.= 1,8 m,  $C_1 = 5,8$  m y  $C_2 = 11,8$  m.

Desde 5740 hasta 5800 m hay cafetal en ambas márgenes del cauce y en este último sitio desemboca la quebrada Santa Bárbara (ver Figura 9 y 10), que tiene:  $A=1,55$  m,  $P=0,12$  m,  $V=0,234$  m/s  $Q=0,03917$  m<sup>3</sup>/s,  $S=2,5\%$ , L.A.=1,79 m,  $C_1=3,8$  m,  $C_2=7,8$  m. (medición hecha 11 de febrero de 2000 a las 12:05 h). A continuación por la margen derecha encontramos pasto de corte y caña panelera hasta 5880 m donde encontramos un derrumbe de 6 m luego un terreno arado y desde 5920 aparece guadua hasta 5960 m, de aquí hasta 6140 hay guadua alternando con potreros; en este tramo encontramos también: entre 5960 y 5980 un tubo con aguas residuales que cae a la quebrada lo mismo que dos líneas de agua limpia ( $Q=0,007$  m<sup>3</sup>/s y  $Q=0,0008$  m<sup>3</sup>/s).

En 6095 m hay empalizada y desde 6140 m hasta 6160 m (sitio de muestreo 46A) hay construida una trinchera, a partir de allí hasta 6289 m se encuentra ubicada la rallandería de Hubert Vergara, en 6200 y 6240 m caen residuales de canales de sedimentación y de lavado de raíces de yuca respectivamente, en 6260 m hay puente de guadua y camino que va al barrio Belén y en 6289 m puente en concreto que comunica la vereda Santa Bárbara con Mondomo por carretera. Después del puente encontramos potreros hasta 6380 m luego hay una platanera y desde 6420 m hasta 6748 m hay un pequeño bosque de ribera con pocos árboles gruesos. En 6620 encontramos otra empalizada; en 6690 m puente y camino que va a la vereda La Alita.

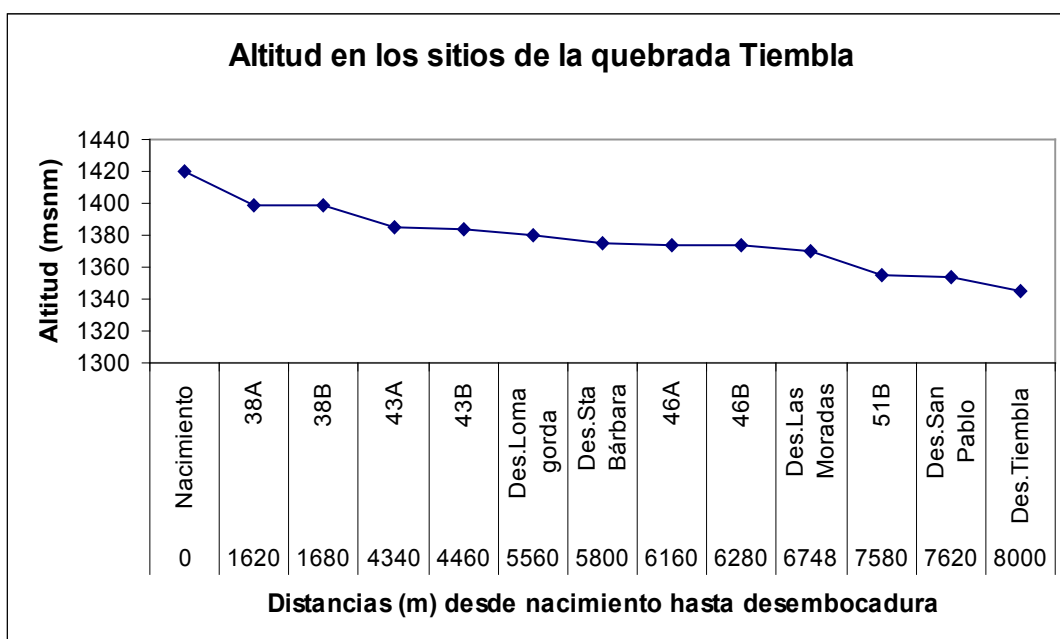


Figura 9. Altitudes en la quebrada Tiembla desde su nacimiento hasta su desembocadura.

Por la margen izquierda después de la desembocadura de la quebrada Santa Bárbara (5800 m), hay un guadual hasta 5920 m luego hay un bosque de ribera pequeño y bastante ralo hasta 6260 m y de aquí hasta el puente (6289 m) está la rallandería No. 46 de Aura Muñoz (en este sitio 46B, se recogieron muestras para el estudio de contaminación). Después del puente está la rallandería No. 47 de Jaime Sánchez; en 6425 y 6490 m, entran al cauce aguas residuales de Mondomo, en 6467 m hay puente del acueducto de Mondomo que viene de la vereda La Alita. Este tramo (6289 a 6500 m) está bastante desprovisto de vegetación y solo desde los 6500 hasta los 6720 m hay un pequeño bosque de ribera con pocos árboles y rastrojos. Entre 5740 m y 6720 m las pendientes cercanas al cauce tienden a ser elevadas (hasta del 65 %); para los tramos entre 5740 m a 6020 m oscilan entre 30 % al 45 %.

Para la margen derecha entre 5740 m a 6600 m, encontramos pendientes de 25-45% alrededor del cauce y entre 6600 m a 6748 m encontramos pendientes de 45 % al 80 %. En febrero 14 de 2000 a las 10:15 h y a 6748 m del nacimiento de la quebrada Tiembla, se midió caudal de la quebrada Las Moradas en su desembocadura y se obtuvo los siguientes resultados (medición hecha en febrero 14 de 2000 m a las 10:15 h).  $A=1,525$  m,  $P=0,103$  m,  $V = 0,638$  m/s,  $Q = 0,080$  m<sup>3</sup>/s, L.A. = 1,8 m,  $C_1 = 3,2$  m y  $C_2 = 6,3$  m.

Por la margen izquierda de 6720-7020 m hay sembrado maíz y yuca al pie del cauce con pendientes de 30-12 %, en la loma hay pendientes de hasta 70 % y también están sembradas de maíz y yuca. De 7020 m hasta 7320 m hay un guadual con un lote de plátano que está después del puente de concreto por donde pasa la vía que viene de la vereda La Alita y va hasta Mondomo; en este tramo encontramos: línea de agua ( $Q = 0,0006$  m<sup>3</sup>/s) que entra al cauce en 7120 m, en 7180 m aguas residuales de las casas de Mondomo, en 7320 m puente de guadua y camino.

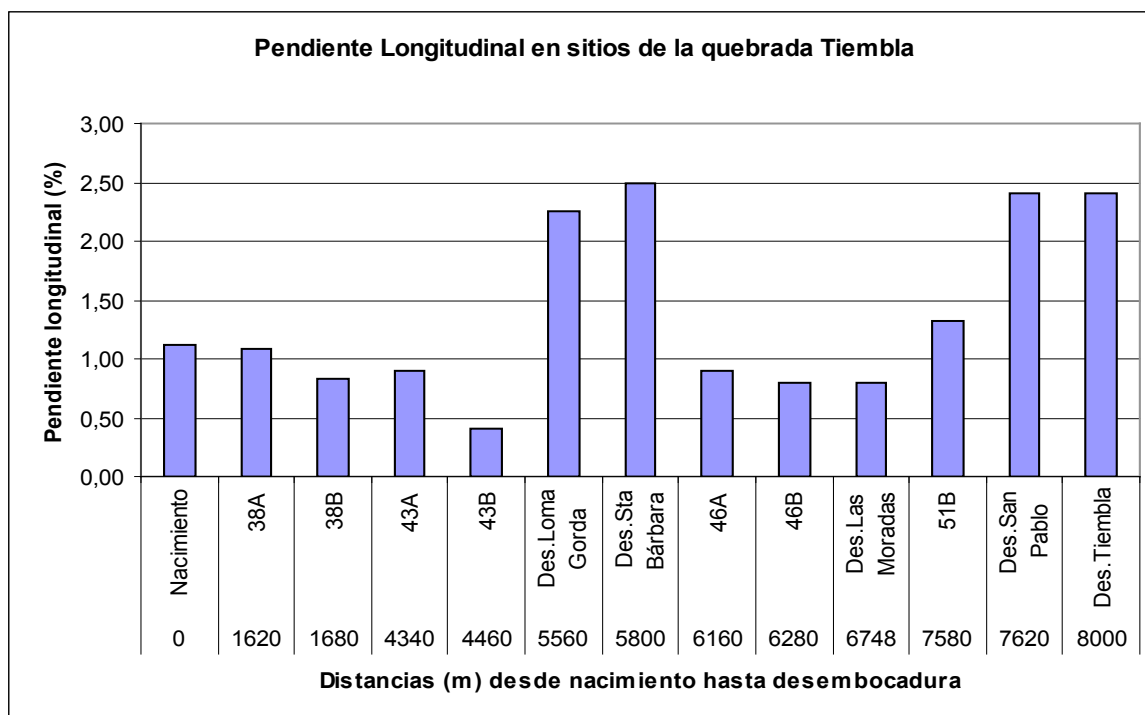


Figura 10. Pendiente longitudinal dentro del cauce de la quebrada Tiembla desde su nacimiento hasta su desembocadura.

En este tramo encontramos pendientes hasta del 40 % al pie del cauce, entre 7320 m a 7360 m hay un lote de caña brava y luego encontramos hasta 7500 m, café y plátano en pendientes de hasta 65 %, (en 7520 sitio de muestreo 51A) a partir de aquí y hasta el puente de concreto que comunica a Mondomo con las veredas de El Pedregal, San Ignacio y el municipio de Buenos Aires encontramos las porquerizas y rallandería No. 51 de la señora Hilda Salazar (a 7564 m). Al otro lado del puente (en 7580 sitio de muestreo 51B) encontramos patio de secado de la rallandería No.51, caña brava, un pequeño guadual, pasto de corte y una platanera hasta 7680; a partir de aquí y hasta los 8000 m en la desembocadura al río Mondomo solo encontramos en ambas márgenes de la quebrada Tiembla, con pendientes entre 12 % y 25 %, con excepción de los tramos 7620 m a 7640 m, 7760 m a 7780 m y 7960 m a 7980 m, donde la loma llega hasta el borde del cauce y hallamos pendientes hasta del 80 %. En las lomas que rodean al cauce las pendientes son del 75-80 %.

En la margen derecha después de la desembocadura de la quebrada Las Moradas hay yuca y rastrojos hasta 6860 y luego potreros hasta 7200 m (las pendientes en este tramo son del 22 %), en 6870 m hay puente. Desde 7200 m hasta 7420 m hay un guadual con pendientes hasta del 75 %; posteriormente encontramos porqueriza, galpón de aves, RALL No. 50 y casa de Néstor Hernández. En 7440 m y 7510 m, hallamos aguas residuales de porqueriza y rallandería, en 7564 está el puente y después de este hay plátano y café hasta 7660 m y de aquí hasta la desembocadura hay solo potreros con pendientes al pie del cauce de 12 % a 20 %; en la loma las pendientes son de 55 % al 75 %.

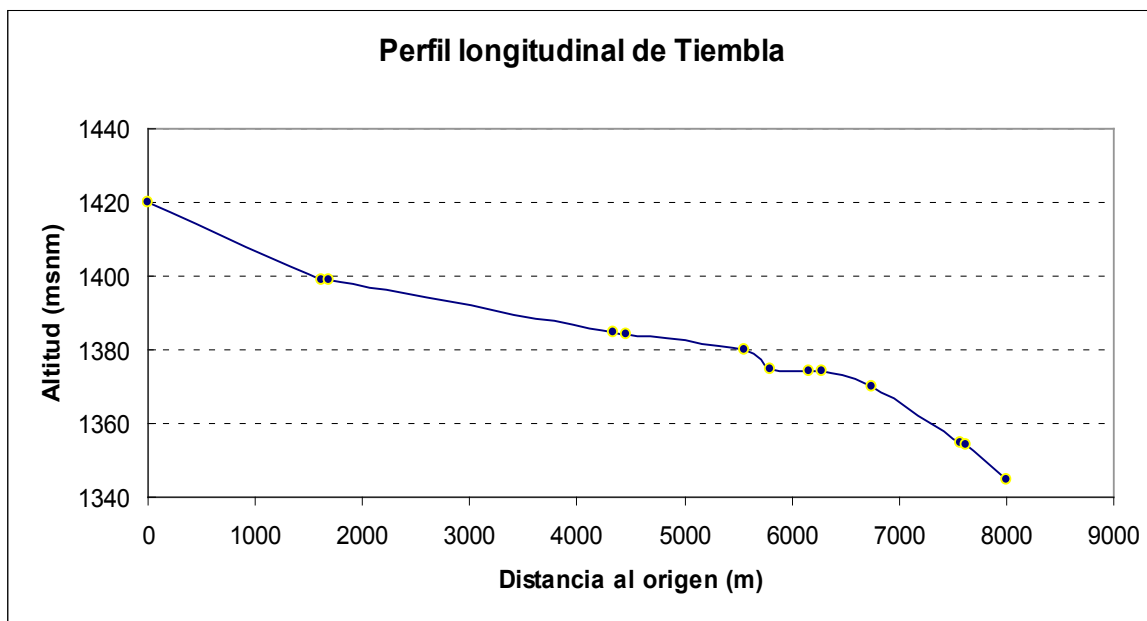


Figura 11. Perfil longitudinal de la quebrada Tiembla desde su nacimiento hasta su desembocadura.

### 8.2.5 LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LA CHAPA Y TIEMBLA

En la zona de estudio, los bosques más densos se localizan protegiendo las cuencas y por su biometría, características fisionómicas y ecológicas se pueden considerar como sucesiones secundarias, en diferentes estados dinámicos. Estos bosques se encuentran cumpliendo principalmente una función protectora y reguladora de los recursos hídricos (Foto 1).

En algunos sitios como Mondomito y San Pablo, se encontraron especies como: cachimbos (*Erythrina poeppigiana*), cafetillo (*Lacistema aggregatum*), caña brava (*Gynerium sagittatum*), carbonero (*Calliandra pittieri*), cucharos (*Myrsine guianensis*), guadua (*Guadua angustifolia*), guamos (*Inga spectabilis*), guayabo (*Psidium guajava*), jigua (*Cinnamomum cinnamomifolium*), madroño (*Garcinia madrunno*), mango (*Mangifera indica*), mestizo (*Cupania americana*), mil hojas (*Casearia sylvestris*), nacedero (*Trichanthera gigantea*), asociados con cultivos como el café (*Coffea arabica*), constituyendo sistemas agroforestales (Foto 2).

La vegetación estudiada en el corredor de las dos microcuencas se encuentra bastante fragmentada, debido a la permanente influencia antrópica, como consecuencia del uso agropecuario intensivo que se da al suelo en toda la zona. En esta fragmentación ecosistémica, también juega un rol muy importante la red vial y demás ambientes construidos.



Foto 1. Vegetación típica de una sucesión secundaria en la localidad de Mondomito, donde se observa una gran diversidad especies.

En la zona se observa como consecuencia de la degradación del bosque primario, mosaicos de paisaje de colinas, donde coexiste una vegetación variada, destacándose los manchones de bosque secundario en las zonas de mayor pendiente y hacia las cañadas, los arbustales, los matorrales, los pastizales y los sistemas agrosilviculturales, distribuidos en forma heterogénea. En algunos sitios se observan pequeñas manchas de bosque inmersos en una matriz de gramíneas y arbustos, resultado del proceso de la fragmentación que ha sufrido el ecosistema (Foto 3).

Por las características climáticas (Eslava y Olaya, 1986) y fisiográficas de la región, la vegetación existente en esta zona se puede clasificar de acuerdo con Cuatrecasas (1958), como selva Subandina y como bosque húmedo premontano (bh-PM), según el sistema de Holdridge (1978).



Foto 2. Vegetación asociada a los sistemas agroforestales, como sombrío del cafeto. Al lado derecho fustes de cachimbo o cámbulo (*Erythrina poeppigiana*) y al lado izquierdo guadua (*Guadua angustifolia*).

Los suelos presentan el material parental compuesto por sedimentos heterogéneos cubiertos con una mezcla de cenizas volcánicas y arcillas residuales, poco evolucionados, moderadamente profundos, escasos en materia orgánica y con alto contenido de aluminio. El relieve oscila desde ligeramente ondulado a ligeramente quebrado, predomina el paisaje de lomerío. Por sus características se ubican en la Asociación Domingullo, la cual desde el punto de vista fisiográfico tiene límites claros con las Asociaciones Quinamayó y Suárez (IGAC, 1979; IGAC, 1995).

Tanto en los bosques, como en las áreas de rastrojo contiguas, se observaron especies de importancia ambiental para las microcuencas de la región, debido a que crecen en laderas con suelos rojizos y erosionados, constituyendo con su arquitectura, una cobertura protectora de rápida formación. En este grupo de especies se destacan: aguacatillo (*Persea sp*), balso blanco (*Heliocarpus americanus*), cachimbo (*Erythrina poeppigiana*), cafetillo (*Lacistema aggregatum*), caña brava (*Gynerium sagittatum*), carbonero (*Calliandra pittieri*), cascarillo (*Ladenbergia oblongifolia*), chilco (*Baccharis trinervis*), cucharo (*Myrsine guianensis*), drago o sangregado (*Croton cf. funkianus*), guadua (*Guadua angustifolia*), guamo (*Inga spectabilis*), jigua (*Cinnamomum cinnamomifolium*), mestizo (*Cupania americana*), mortifios (*Miconia rubiginosa*, *Miconia caudata* y *Clidemia sp*), nacedero (*Trichanthera gigantea*), tumbamaco (*Schefflera morototoni*), yarumo (*Cecropia sp*); y las

herbáceas: braquiaria (*Brachiaria sp*), frijolillo (*Dioclea sericea*), grama común (*Paspalum sp*), guinea (*Panicum maximum*), rabo de zorro (*Andropogon bicornis*), pasto puntero (*Hyparrhenia rufa*), y pasto yaraguá (*Melinis minutiflora*), entre otras (Foto 4 y Tabla 1).



Foto 3. Manchones de bosque secundario y vegetación de las cañadas, rodeados de pastizales. En el centro de la fotografía sobresale un cascarillo (*Ladenbergia oblongifolia*), árbol típico de la región.

Tanto en los bosques, como en las áreas de rastrojo contiguas, se observaron especies de importancia ambiental para las microcuencas de la región, debido a que crecen en laderas con suelos rojizos y erosionados, constituyendo con su arquitectura, una cobertura protectora de rápida formación. En este grupo de especies se destacan: aguacatillo (*Persea sp*), balso blanco (*Heliocarpus americanus*), cachimbo (*Erythrina poeppigiana*), cafetillo (*Lacistema aggregatum*), caña brava (*Gynerium sagittatum*), carbonero (*Calliandra pittieri*), cascarillo (*Ladenbergia oblongifolia*), chilco (*Baccharis trinervis*), cucharo (*Myrsine guianensis*), drago o sangregado (*Croton cf. funckianus*), guadua (*Guadua angustifolia*), guamo (*Inga spectabilis*), jigua (*Cinnamomum cinnamomifolium*), mestizo (*Cupania americana*), mortiños (*Miconia rubiginosa*, *Miconia caudata* y *Clidemia sp*), nacedero (*Trichanthera gigantea*), tumbamaco (*Schefflera morototoni*), yarumo (*Cecropia sp*); y las herbáceas: braquiaria (*Brachiaria sp*), frijolillo (*Dioclea sericea*), grama común (*Paspalum sp*), guinea (*Panicum maximum*), rabo de zorro (*Andropogon bicornis*), pasto puntero (*Hyparrhenia rufa*), y pasto yaraguá (*Melinis minutiflora*), entre otras (Foto 4 y Tabla 1).

#### **Aspectos ecológicos generales.**

Se observa que la selva natural prácticamente ha desaparecido, quedando algunas áreas importantes en los sitios de mayor pendiente, protegiendo los sistemas de drenaje superficial. La composición y la estructura reflejan la presión antrópica que se ha ejercido sobre estos bosques. Las formaciones boscosas estudiadas en la región de Mondomo, entre 1170 msnm y 1430 msnm, se encuentran en estado de recuperación natural.

#### **Altura de los árboles.**

La altura promedio de los árboles estimada en 12 m y el diámetro entre 10 y 136 cm., con un promedio general de 22,30 cm., indica que la vegetación se encuentra en un estado de crecimiento dinámico, el sotobosque es bastante tupido, como consecuencia de los estímulos que produce la luz que se filtra a través del dosel. En el sotobosque son frecuentes: balsa blanca (*Heliocarpus americanus*), mora (*Rubus* sp), mortiño (*Clidemia* sp), pomorroso (*Zizygium jambos*), uvos (*Clusia* sp), cordoncillo (*Piper* sp), gramíneas, ciperáceas, helechos, bromelias, orquídeas y musgos.



Foto 4. Fitocenosis creciendo en suelos rojizos y erosionados. En el centro se observa un ejemplar común en la zona, el tumbamaco (*Schefflera morototoni*), rodeado de un arbustal donde se destacan los mortiños (*Miconia* sp).

### **Estructura.**

Con relación a la estructura general, se encontró que las copas de los árboles forman un dosel discontinuo, presentándose algunos claros que son aprovechados por brinzales y algunas plantas pioneras para crecer en forma activa y conformar un estrato arbustivo bastante variado. De acuerdo con los registros biométricos y los perfiles elaborados, se observa en la estructura de los bosques la presencia de dos estratos arbóreos (superior e inferior) definidos, además del arbustivo y del herbáceo, que no se incluyeron en los muestreos.

### **Diversidad.**

A pesar del estado de intervención de los bosques en las dos microcuencas, se observó una importante diversidad en las formaciones secundarias estudiadas (Tablas 2 y 3). La mayor diversidad promedio se encontró en la vegetación ribereña de la quebrada Tiembra con 3,88; en la quebrada La Chapa el promedio fue de 3,46. El resultado anterior es un buen indicador del estado, que refleja la

actividad humana ejercida sobre estos ecosistemas. La diversidad de estos bosques Subandinos también se refleja en las 35 familias botánicas encontradas en vegetación ribereña localizada en las dos quebradas (Tabla 1). Las familias mejor representadas fueron: Melastomataceae (4 especies), Mimosaceae (4 especies), Lauraceae (3 especies) y Myrtaceae (3 especies).

#### **Dominancia.**

La Fitocenosis muestra como especie dominante en la vereda de Mondomito a *Erythrina poeppigiana* (81,50%), y como especies codominantes a *Cupania americana*, *Myrsine guianensis* y *Miconia caudata*; en San Pablo las especies dominantes fueron: *Ficus glabrata* (55,90%) e *Inga spectabilis* (12,21%); en “La Agustina”, las especies de mayor dominancia en la comunidad fueron: *Cinnamomum cinnamomifolium* (20,89 %) y *Calliandra pittieri* (20,89 %) y en Cachimbal fue *Calliandra pittieri* (22,85 %) la especie de mayor dominancia, seguida de *Inga spectabilis* (10,10 %) (Tablas 4, 5, 6 y 7).

#### **Índice de Valor de Importancia (IVI).**

Las especies que alcanzaron el mayor IVI en la quebrada “Tiembla” fueron: *Erythrina poeppigiana* (89,44 %), *Ficus glabrata* (64,44 %), *Inga spectabilis* (56,31 %), *Lacistema aggregatum* (49,27 %), *Cupania americana* (33,78 %), y *Myrsine guianensis* (26,68 %), y en la quebrada “La Chapa”: *Calliandra pittieri* (52,71 %), *Cinnamomum cinnamomifolium* (48,05 %), *Cupania americana* (35,89 %) y *Myrsine guianensis* (27,40 %), lo que les da mayor peso o importancia ecológica a nivel de su respectiva comunidad.

#### **Similitud entre comunidades.**

Al comparar las comunidades muestreadas en “Mondomito” (1430 msnm) con las de “San Pablo” (1335 msnm), el índice de Sorensen se calculó en 38,70 %, lo que da a entender que la similaridad entre ellas no es muy grande, aunque se localizan a alturas cercanas y en la misma microcuena. Por la presencia de sistemas agroforestales en las dos localidades, se puede inferir que esta heterogeneidad es potenciada por la intervención humana. El índice llegó a 59,26 % cuando se compararon las muestras de vegetación de “La Agustina” (1417 msnm) y “Cachimbal” (1155 msnm) pertenecientes a la quebrada “La Chapa”, en este caso, se observa mayor afinidad entre estas comunidades vegetales ribereñas. Mayor similitud (58,82 %) se encontró cuando se comparó la vegetación de los dos levantamientos de la misma vertiente, correspondiente a las veredas de “Mondomito” (1430 msnm) y “Cachimbal” (1155 msnm), aunque se encuentran en diferente gradiente altitudinal, están situadas dentro de la misma región Subandina. Cuando se comparó la vegetación de los dos sitios: “San Pablo” (1335 msnm) y “La Agustina” (1417 msnm), el índice de similitud fue el más alto con 66,66%, por presentar las dos comunidades la mayor cantidad de especies comunes.

Tabla 1. Vegetación identificada en la parte alta y baja de las quebradas: “Tiembra” y “La Chapa”, corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, departamento del Cauca, Colombia.

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Aguacatillo	<i>Persea sp.</i>	Lauraceae
Balso blanco o palo bobo	<i>Heliocarpus americanus</i>	Tiliaceae
Banara	<i>Banara guianensis</i>	Flacourtiaceae
Bromelia	<i>Pitcairnia sp</i>	Bromeliaceae
Café	<i>Coffea arabica</i>	Rubiaceae
Cachimbo o cámbulo	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Papilionaceae
Cafetillo o café de monte	<i>Lacistema aggregatum</i>	Lacistemataceae
Caña brava	<i>Gynerium sagittatum</i>	Poaceae
Carbonero	<i>Calliandra pittieri</i>	Mimosaceae
Cascarillo	<i>Ladenbergia oblongifolia</i>	Rubiaceae
Chilco	<i>Baccharis polyantha</i>	Asteraceae
Chilco blanco	<i>Baccharis trinervis</i>	Asteraceae
Cordoncillo	<i>Piper sp</i>	Piperaceae
Cortadera	<i>Rhynchospora sp</i>	Cyperaceae
Cucharo	<i>Myrsine guianensis</i>	Myrsinaceae
Drago o sangregado	<i>Croton cf funckianus</i>	Euphorbiaceae
Frijolillo	<i>Dioclea sericea</i>	Fabaceae
Grama común	<i>Paspalum sp</i>	Poaceae
Guadua	<i>Guadua angustifolia</i>	Poaceae
Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i>	Bignoniaceae
Guamo	<i>Inga spectabilis</i>	Mimosaceae
Guayabo común	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae
Guayabilla	<i>Psidium quineensi</i>	Myrtaceae
Helecho	<i>Dricanopteris pectinata</i>	Gleicheniaceae
Helecho marranero	<i>Pteridium aquilinum</i>	Polypodiaceae
Híguerón o caucho	<i>Ficus glabrata</i>	Moraceae
Jigua negro	<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	Lauraceae
Jigua sombrilla	<i>Nectandra af longifolia</i>	Lauraceae
Madroño	<i>Garcinia madrunno</i>	Guttiferae
Mandur o carate	<i>Vismia baccifera</i>	Clusiaceae
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
Mano de oso	<i>Oreopanax sp</i>	Araliaceae
Mestizo	<i>Cupania americana</i>	Sapindaceae
Mil hojas	<i>Casearia sylvestris</i>	Flacourtiaceae
Mora	<i>Miconia sp</i>	Melastomataceae
Mortino sp1 (bosque)	<i>Miconia caudata</i>	Melastomataceae
Mortino sp2 (rastrojo)	<i>Miconia rubiginosa</i>	Melastomataceae
Mortino sp3 (rastrojo)	<i>Clidemia sp</i>	Melastomataceae
Nacedero	<i>Trichanthera gigantea</i>	Acanthaceae
Orquídea blanca (epífita)	<i>Epidendrum sp</i>	Orchidaceae
Orquídea pajarito (terrestre)	<i>Epidendrum longifolium</i>	Orchidaceae
Palma de corozo	<i>Aiphanes sp</i>	Arecaeae
Pasto yaraguá o gordura	<i>Melinis minutiflora</i>	Poaceae
Pasto braquiaria	<i>Brachiaria sp</i>	Poaceae
Pasto carrizo	<i>Paspalum saccharoides</i>	Poaceae
Pasto guinea	<i>Panicum maximum</i>	Poaceae
Pasto Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Poaceae
Pasto puntero	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Poaceae
Pepo o cucubo	<i>Solanum sp</i>	Solanaceae
Pino patula	<i>Pinus patula</i>	Pinaceae
Pomarroso	<i>Zizygiuim jambos</i>	Myrtaceae
Rabo de zorro	<i>Andropogon bicornis</i>	Poaceae
Tachuelo	<i>Zanthoxylum sp</i>	Rutaceae
Tumbamaco	<i>Schefflera morotoni</i>	Araliaceae
Uña de gato	<i>Mimosa albida</i>	Mimosaceae
Uvo	<i>Clusia sp</i>	Clusiaceae
Venturosa	<i>Lantana sp</i>	Verbenaceae
Yarumo	<i>Cecropia sp</i>	Cecropiaceae
Zarza	<i>Mimosa sp</i>	Mimosaceae

Tabla 2. Síntesis de las variables cuantitativas para las especies arbóreas de mayor importancia ecológica en bosques de ribera de la quebrada La Chapa del corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca, Colombia.

NOMBRE CIENTIFICO	DENSIDAD		FRECUENCIA		DOMINANCIA		IVI	H'
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	%	
<i>Erythrina poeppigiana</i>	1,28	5,09	0,20	2,85	187,800	81,50	89,44	0,215
<i>Cupania americana</i>	4,28	17,03	1,00	14,28	5,681	2,47	37,78	0,435
<i>Myrsine guianensis</i>	3,42	13,61	0,80	11,42	3,803	1,65	26,68	0,392
<i>Miconia caudata</i>	2,56	10,18	0,60	8,56	4,706	2,04	20,78	0,335
<i>Persea sp.</i>	2,14	8,51	0,60	8,57	3,294	1,43	18,51	0,303
<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	1,71	6,80	0,40	5,71	6,210	2,70	15,21	0,264
<i>Miconia sp</i>	1,71	6,80	0,40	5,71	1,400	0,61	13,12	0,264
<i>Oreopanax sp</i>	0,85	3,38	0,40	5,71	3,400	1,48	10,57	0,165
<i>Lacistema aggregatum</i>	0,85	3,38	0,40	5,71	0,810	0,35	9,44	0,165
<i>Casearia sylvestris</i>	1,28	5,09	0,20	2,85	1,067	0,46	8,40	0,215
<i>Ladenbergia oblongifolia</i>	0,85	3,38	0,20	2,85	1,930	0,84	7,07	0,165
<i>Inga spectabilis</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	5,020	2,18	6,70	0,100
<i>Guadua angustifolia</i>	0,85	3,38	0,20	2,85	0,961	0,42	6,65	0,165
<i>Trichanthera gigantea</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	1,320	0,57	5,09	0,100
<i>Psidium guajava</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	0,742	0,32	4,84	0,100
<i>Clusia sp</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	0,568	0,25	4,77	0,100
<i>Cecropia sp</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	0,475	0,21	4,73	0,100
<i>Croton cf funckianus</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	0,330	0,14	4,66	0,100
<i>Garcinia madrunno</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	0,330	0,14	4,66	0,100
<i>Mangifera indica</i>	0,42	1,67	0,20	2,85	0,330	0,14	4,66	0,100
Total	25,14	99,99	7,00	99,86	230,180	99,90	299,76	3,883

Tabla 3. Síntesis de las variables cuantitativas para las especies arbóreas de mayor importancia ecológica en bosques de ribera de la quebrada Tiembla del corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, departamento del Cauca, Colombia.

NOMBRE CIENTIFICO	DENSIDAD		FRECUENCIA		DOMINANCIA		IVI	H'
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	%	
<i>Ficus glabrata</i>	0,66	3,00	0,33	5,54	74,64	55,90	64,44	0,151
<i>Inga spectabilis</i>	6,00	27,32	1,00	16,78	16,30	12,21	56,31	0,511
<i>Lacistema aggregatum</i>	6,00	27,32	1,00	16,78	6,90	5,17	49,27	0,511
<i>Croton cf funckianus</i>	2,00	9,10	0,66	11,07	11,20	8,39	28,56	0,311
<i>Cupania americana</i>	2,00	9,10	0,66	11,07	3,73	2,80	22,97	0,311
<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	1,33	6,06	0,66	11,07	6,02	4,51	21,64	0,242
<i>Oreopanax sp</i>	0,66	3,00	0,33	5,54	9,58	7,17	15,71	0,151
<i>Cecropia sp</i>	1,33	6,06	0,33	5,54	2,35	1,76	13,36	0,242
<i>Nectandra af longifolia</i>	0,66	3,00	0,33	5,54	1,33	1,00	9,54	0,151
<i>Schefflera morototoni</i>	0,66	3,00	0,33	5,54	1,02	0,76	9,30	0,151
<i>Banara guianensis</i>	0,66	3,00	0,33	5,54	0,52	0,39	8,93	0,151
Total	21,96	99,96	5,96	100,00	133,59	100,00	300,00	2,883

Tabla 4. Vegetación con DAP  $\geq 10$  cm, correspondiente a la vereda de Mondomito a 1430 msnm, ubicada a un lado del sitio de muestreo 38A y 38B en la ribera de la quebrada "Tiembla", corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, departamento del Cauca, Colombia.

NOMBRE CIENTIFICO	DENSIDAD		FRECUENCIA		DOMINANCIA		IVI	H'
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	%	
<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	2,66	15,40	0,66	11,76	14,42	20,89	48,05	0,423
<i>Calliandra pittieri</i>	2,66	15,40	0,66	11,76	14,42	20,89	48,05	0,423
<i>Cupania americana</i>	2,00	11,58	0,66	11,76	8,66	12,55	35,89	0,292
<i>Myrsine guianensis</i>	2,00	11,58	0,66	11,76	2,80	4,06	27,40	0,367
<i>Ladenbergia oblongifolia</i>	0,66	3,82	0,33	5,88	8,71	12,62	22,32	0,186
<i>Inga spectabilis</i>	2,00	11,58	0,33	5,88	2,80	4,06	21,52	0,367
<i>Heliocarpus americanus</i>	1,33	7,70	0,33	5,88	5,32	7,70	21,28	0,292
<i>Oreopanax sp</i>	0,66	3,82	0,33	5,88	4,07	5,90	15,60	0,186
<i>Schefflera morototoni</i>	0,66	3,82	0,33	5,88	4,07	5,90	13,77	0,186
<i>Zanthoxylum sp</i>	0,66	3,82	0,33	5,88	1,68	2,43	12,13	0,186
<i>Cecropia sp</i>	0,66	3,82	0,33	5,88	1,02	1,48	11,18	0,186
<i>Banara guianensis</i>	0,66	3,82	0,33	5,88	0,52	0,75	10,45	0,186
<i>Lacistema aggregatum</i>	0,66	3,82	0,33	5,88	0,52	0,75	10,45	0,186
Total	17,27	99,98	5,61	99,96	69,01	99,98	298,09	3,460

Tabla 5. Vegetación con DAP  $\geq 10$  cm., correspondiente a la vereda de San Pablo a 1335 msnm, ubicada muy cerca del sitio de muestreo 51A y 51B en la quebrada "Tiembla", corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, departamento del Cauca, Colombia

NOMBRE CIENTIFICO	DENSIDAD		FRECUENCIA		DOMINANCIA		IVI	H'
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	%	
<i>Calliandra pittieri</i>	6,00	20,74	0,66	9,52	19,30	22,85	52,71	0,450
<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	5,00	16,95	0,66	9,52	7,70	9,12	35,59	0,430
<i>Inga spectabilis</i>	1,50	5,08	0,66	9,52	8,50	10,10	24,70	0,214
<i>Zanthoxylum sp</i>	2,50	8,47	0,66	9,52	5,03	5,95	23,94	0,299
<i>Schefflera morototoni</i>	2,50	8,47	0,33	4,76	8,82	10,44	23,67	0,299
<i>Aiphanes sp</i>	3,00	10,16	0,66	9,52	2,68	3,17	22,85	0,320
<i>Casearia sylvestris</i>	2,50	8,47	0,66	9,52	2,82	3,33	21,32	0,299
<i>Erythrina poeppigiana</i>	1,00	3,40	0,33	4,76	9,08	10,75	18,91	0,150
<i>Croton cf funckianus</i>	1,50	5,08	0,66	9,52	2,70	3,20	17,80	0,214
<i>Trichanthera gigantea</i>	1,00	3,40	0,33	4,76	7,56	8,95	17,11	0,150
<i>Persea sp,</i>	1,50	5,08	0,33	4,76	5,55	6,57	16,41	0,214
<i>Cupania americana</i>	0,50	1,70	0,33	4,76	2,08	2,46	8,92	0,094
<i>Cecropia sp</i>	0,50	1,70	0,33	4,76	1,73	2,04	8,50	0,094
<i>Myrsine guianensis</i>	0,50	1,70	0,33	4,76	0,90	1,07	7,53	0,094
Total	29,50	100,00	6,93	99,99	84,45	100,00	299,96	3,321

Tabla 6. Vegetación con DAP  $\geq 10$  cm, correspondiente a la vereda de “La Agustina” a 1417 msnm, ubicada a un lado del sitio de muestreo 3A en la quebrada “La Chapa”, corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, departamento del Cauca, Colombia.

LOCALIDAD	ESPECIE	DR	FR	DO	IVI
Mondomito	<i>Erythrina poeppigiana</i>	5,09	2,85	81,50	89,44
	<i>Cupania americana</i>	17,03	14,28	2,47	37,78
	<i>Myrsine guianensis</i>	13,61	11,42	1,65	26,68
	<i>Miconia caudata</i>	10,18	8,56	2,04	20,78
San Pablo	<i>Ficus glabrata</i>	3,00	5,54	55,90	64,44
	<i>Inga espectralis</i>	27,32	16,78	12,21	56,31
	<i>Lacistema aggregatum</i>	27,32	16,78	5,17	49,27
	<i>Croton cf funckianus</i>	9,10	11,07	8,39	28,56
La Agustina	<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	15,40	11,76	20,89	48,05
	<i>Calliandra pittieri</i>	15,40	11,76	20,89	48,05
	<i>Cupania americana</i>	11,58	11,76	12,55	35,89
	<i>Myrsine guianensis</i>	11,58	11,76	4,06	27,40
Cachimbal	<i>Calliandra pittieri</i>	20,74	9,52	22,85	52,71
	<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	16,95	9,52	9,12	35,59
	<i>Inga espectralis</i>	5,08	9,52	10,10	24,74
	<i>Zanthoxylum sp</i>	8,47	9,52	5,95	23,94

Tabla 7. Vegetación con DAP  $\geq 10$  cm, correspondiente a la vereda de “Cachimbal” a 1155 msnm, ubicada a un lado del sitio de muestreo 21A y 21B en la quebrada “La Chapa”, corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, departamento del Cauca, Colombia.

NOMBRE CIENTIFICO	DENSIDAD		FRECUENCIA		DOMINANCIA		IVI	H'
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	Abs.	%	
<i>Calliandra pittieri</i>	6,00	20,74	0,66	9,52	19,30	22,85	52,71	0,45
<i>Cinnamomum cinnamomifolium</i>	5,00	16,95	0,66	9,52	7,70	9,12	35,59	0,43
<i>Inga espectralis</i>	1,50	5,08	0,66	9,52	8,50	10,10	24,70	0,21
<i>Zanthoxylum sp</i>	2,50	8,47	0,66	9,52	5,03	5,95	23,94	0,30
<i>Schefflera morototoni</i>	2,50	8,47	0,33	4,76	8,82	10,44	23,67	0,30
<i>Aiphanes sp</i>	3,00	10,16	0,66	9,52	2,68	3,17	22,85	0,32
<i>Casearia sylvestris</i>	2,50	8,47	0,66	9,52	2,82	3,33	21,32	0,30
<i>Erythrina poeppigiana</i>	1,00	3,40	0,33	4,76	9,08	10,75	18,91	0,15
<i>Croton cf funckianus</i>	1,50	5,08	0,66	9,52	2,70	3,20	17,80	0,21
<i>Trichanthera gigantea</i>	1,00	3,40	0,33	4,76	7,56	8,95	17,11	0,15
<i>Persea sp,</i>	1,50	5,08	0,33	4,76	5,55	6,57	16,41	0,21
<i>Cupania americana</i>	0,50	1,70	0,33	4,76	2,08	2,46	8,92	0,09
<i>Cecropia sp</i>	0,50	1,70	0,33	4,76	1,73	2,04	8,50	0,09
<i>Myrsine guianensis</i>	0,50	1,70	0,33	4,76	0,90	1,07	7,53	0,09
Total	29,50	100,0	6,93	99,99	84,45	100,0	299,96	3,32

### 8.3 ANEXO 3: FICHAS DE CÁLCULO DE CAUDALES

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: SEPTIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 14:05				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA: QUINAMAYO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: LA AGUSTINA				SITIO: 3A			
ALTITUD: 1417 m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,215		VELOCIDAD MEDIA		0,272842 m/s		ANCHOS: L.A.=0,6m; C1=7m; C2=12m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=16,5; P2 l= 65 y P2 D=90			
P2 l: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,28	0,17	0	0,00	0,039	0,039	0,22324	0,27	0,10	0,027	0,00602748
0,10	0,26	0,16	24,00	0,80	0,40748	0,40748	0,415615	0,245	0,20	0,049	0,020365135
0,30	0,23	0,14	25,00	0,83	0,42375	0,42375	0,449115	0,16	0,20	0,032	0,01437168
0,50	0,09	0,06	28,00	0,93	0,47448	0,47448	0,25674	0,045	0,10	0,005	0,00115533
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,041919625
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: JULIO 8 DE 1999				HORA: 11:00				MICROCUENCA: LA CASCADA			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA: QUINAMAYO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIC: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: LA AGUSTINA				SITIO: 12A			
ALTITUD: 1366 m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40 s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,158		VELOCIDAD MEDIA		0,455713 m/s		ANCHOS: L.A.=0,94m; C1=7m; C2=12m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=4; P2 l=55 y P2 D=45			
P2 l: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,42584	0,11	0,20	0,022	0,00936848
0,20	0,22	0,13	48,00	1,60	0,81268	0,81268	0,753495	0,185	0,20	0,037	0,027879315
0,40	0,15	0,09	41,00	1,37	0,69431	0,69431	0,601305	0,15	0,20	0,030	0,01803915
0,60	0,15	0,09	30,00	1,00	0,5083	0,5083	0,584395	0,13	0,20	0,026	0,01519427
0,80	0,11	0,07	39,00	1,30	0,66049	0,66049	0,349745	0,055	0,14	0,008	0,002693037
0,94	0	0	0	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,073174252
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: SEPTIEMBRE 24 DE 1999				HORA: 9:15				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				CORREGIMIENTO: MONDOMO				SITIO: 43A			
ALTITUD: 1356 m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,200		VELOCIDAD MEDIA		0,236929 m/s		ANCHOS: L.A.=0,7m; C1=9m; C2=15m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=0,90; P2 l=25 y P2 D=30			
P2 l: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,12	0,07	10	0,33	0,177367	0,177367	0,25955	0,155	0,15	0,023	0,006034538
0,15	0,19	0,11	20,00	0,67	0,341733	0,341733	0,399652	0,21	0,15	0,032	0,012589028
0,30	0,23	0,14	27,00	0,90	0,45757	0,45757	0,416088	0,24	0,15	0,036	0,01497918
0,45	0,25	0,15	22,00	0,73	0,374607	0,374607	0,247293	0,23	0,15	0,035	0,00853162
0,60	0,21	0,13	6,00	0,20	0,11998	0,11998	0,07949	0,105	0,10	0,011	0,000834645
0,7	0	0	0	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,04296901

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: SEPTIEMBRE 24 DE 1999				HORA: 9:40				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				CORREGIMIENTO: MONDOMO				SITIO: 43B			
ALTITUD: 1355 m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,094		VELOCIDAD MEDIA		0,520105 m/s		ANCHOS: L.A.=1,25m; C1=9m; C2=15m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=0,41; P2 I=55 y P2 D=25			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
				VELOCIDAD							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,06	0,04	0	0,00	0,039	0,039	0,22324	0,075	0,20	0,015	0,0033486
0,20	0,09	0,05	24,00	0,80	0,40748	0,40748	0,35817	0,095	0,20	0,019	0,00680523
0,40	0,10	0,06	18,00	0,60	0,30886	0,30886	0,501585	0,11	0,20	0,022	0,01103487
0,60	0,12	0,07	41,00	1,37	0,69431	0,69431	0,82959	0,095	0,20	0,019	0,01576221
0,80	0,14	0,08	57,00	1,90	0,96487	0,96487	0,98178	0,07	0,20	0,014	0,01374492
1,00	0,08	0,05	59,00	1,97	0,99869	0,99869	0,86341	0,04	0,10	0,004	0,00345364
1,10	0,07	0,04	43,00	1,43	0,72813	0,72813	0,383565	0,035	0,15	0,005	0,002013716
1,25	0	0	0	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,056163186

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: SEPTIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 9:25				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA: QUINAMAYO				GRAN CUENCA : CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: CACHIMBAL				SITIO: 21A			
ALTITUD: 1155m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,266		VELOCIDAD MEDIA		0,494402 m/s		ANCHOS: L.A.=3m; C1=12m; C2=20m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1= 5; P2 I=15 y P2 D=15			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
				VELOCIDAD							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,157493	0,17	0,40	0,068	0,010709547
0,40	0,34	0,20	16,00	0,53	0,275987	0,275987	0,586608	0,325	0,40	0,130	0,076259083
0,80	0,31	0,19	53,00	1,77	0,89723	0,89723	0,81268	0,335	0,40	0,134	0,10889912
1,20	0,36	0,22	43,00	1,43	0,72813	0,72813	0,76195	0,26	0,40	0,104	0,0792428
1,60	0,36	0,22	47,00	1,57	0,79577	0,79577	0,74504	0,18	0,40	0,072	0,05364288
2,00	0,20	0,12	41,00	1,37	0,69431	0,69431	0,62667	0,1	0,40	0,040	0,0250668
2,40	0,16	0,10	33,00	1,10	0,55903	0,55903	0,499845	0,145	0,40	0,058	0,02899101
2,80	0,13	0,08	26,00	0,87	0,44066	0,44066	0,23983	0,065	0,20	0,013	0,00311779
3	0	0	0	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,38592903

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: SEPTIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 11:05				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: MONDOMITO				SITIO: 38A			
ALTITUD: 1395m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,196		VELOCIDAD MEDIA		0,101825 m/s		ANCHOS: L.A.=1,35m; C1=8m; C2=12m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ								PENDIENTES(%): P1=1,09; P2 I=18 y P2 D=15			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
				VELOCIDAD							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,039	0,055	0,25	0,014	0,00053625
0,25	0,11	0,07	0,00	0,00	0,039	0,039	0,072742	0,155	0,25	0,039	0,00281874
0,50	0,20	0,12	5,00	0,17	0,106483	0,106483	0,150143	0,195	0,25	0,049	0,007319488
0,75	0,19	0,11	11,00	0,37	0,193803	0,193803	0,234895	0,215	0,25	0,054	0,012625606
1,00	0,24	0,14	16,00	0,53	0,275987	0,275987	0,157493	0,24	0,30	0,072	0,01133952
1,30	0,24	0,14	0,00	0,00	0,039	0,039	0,039	0,12	0,05	0,006	0,000234
1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,034873603

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: SEPTIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 11:25				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: SAN PABLO				SITIO: 51B			
ALTITUD: 1328m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,273		VELOCIDAD MEDIA		0,554431 m/s		ANCHOS: L.A.=1,8m; C1=9m; C2=18m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=1,33; P2 I=25 y P2 D=20			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
				VELOCIDAD							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,15	0,09	21	0,70	0,35817	0,35817	0,54315	0,210	0,30	0,063	0,03421845
0,30	0,27	0,16	43,00	1,43	0,72813	0,72813	0,753495	0,290	0,30	0,087	0,065554065
0,60	0,31	0,19	46,00	1,53	0,77886	0,77886	0,871865	0,300	0,30	0,090	0,07846785
0,90	0,29	0,17	57,00	1,90	0,96487	0,96487	0,956415	0,335	0,30	0,101	0,096119708
1,20	0,38	0,23	56,00	1,87	0,94796	0,94796	0,595537	0,360	0,30	0,108	0,06431796
1,50	0,34	0,20	14,00	0,47	0,243113	0,243113	0,141057	0,255	0,30	0,077	0,010790835
1,80	0,17	0,10	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0,085	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,349468868
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: SEPTIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 10:25				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: MONDOMITO				SITIO: 38B			
ALTITUD: 1395m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,156		VELOCIDAD MEDIA		0,14325 m/s		ANCHOS: L.A.=1,8m; C1=8m; C2=12m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=0,98; P2 I=55 y P2 D=45			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
				VELOCIDAD							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,039	0,045	0,30	0,014	0,0005265
0,30	0,09	0,05	0,00	0,00	0,039	0,039	0,198585	0,115	0,30	0,035	0,006851183
0,60	0,14	0,08	21,00	0,70	0,35817	0,35817	0,366388	0,145	0,30	0,044	0,015937893
0,90	0,15	0,09	22,00	0,73	0,374607	0,374607	0,254042	0,165	0,30	0,050	0,012575063
1,20	0,18	0,11	7,00	0,23	0,133477	0,133477	0,086238	0,2	0,30	0,060	0,0051743
1,50	0,22	0,13	0,00	0,00	0,039	0,039	0,039	0,11	0,30	0,033	0,001287
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,042351938
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: OCTUBRE 1 DE 1999				HORA: 14:30				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA: QUINAMAYO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: LA AGUSTINA				SITIO: 3B			
ALTITUD: 1351m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m):		0,232		VELOCIDAD MEDIA		0,456009 m/s		ANCHOS: L.A.=1m; C1=8m; C2=13m.			
OBSERVA OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=16,5; P2 I=45 y P2 D=70			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
				VELOCIDAD							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,25	0,15	40	1,33	0,6774	0,6774	0,57594	0,275	0,20	0,055	0,0316767
0,20	0,30	0,18	28,00	0,93	0,47448	0,47448	0,290482	0,275	0,20	0,055	0,015976492
0,40	0,25	0,15	5,00	0,17	0,106483	0,106483	0,106483	0,25	0,20	0,050	0,005324167
0,60	0,25	0,15	5,00	0,17	0,106483	0,106483	0,434217	0,21	0,20	0,042	0,0182371
0,80	0,17	0,11	45,00	1,50	0,76195	0,76195	0,854955	0,17	0,20	0,034	0,02906847
1	0,17	0,11	56	1,87	0,94796	0,94796	0,47398	0,085	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,100282928

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: OCTUBRE 01 DE 1999				HORA: 12:40				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA:QUINAMAYO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: CACHIMBAL				SITIO: 21A			
ALTITUD:1155m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,195				VELOCIDAD MEDIA 0,422931 m/s				ANCHOS: L.A.=3m; C1=12m; C2=20m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1= 5; P2 I=15 y P2 D=15			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,28	0,17	2	0,07	0,065993	0,065993	0,456247	0,24	0,40	0,096	0,04379968
0,40	0,20	0,12	50,00	1,67	0,84650	0,8465	0,88032	0,23	0,40	0,092	0,08098944
0,80	0,26	0,15	54,00	1,80	0,91414	0,91414	0,81268	0,26	0,40	0,104	0,08451872
1,20	0,26	0,15	42,00	1,40	0,71122	0,71122	0,584395	0,24	0,40	0,096	0,05610192
1,60	0,22	0,13	27,00	0,90	0,45757	0,45757	0,449115	0,20	0,40	0,078	0,03503097
2,00	0,17	0,10	26,00	0,87	0,44066	0,44066	0,382978	0,14	0,40	0,056	0,021446787
2,40	0,11	0,07	19,00	0,63	0,32530	0,32530	0,182148	0,09	0,40	0,034	0,006193043
2,80	0,06	0,04	0,00	0,00	0,039	0,039	0,039	0,03	0,20	0,006	0,000234
3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0,00	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,32831456
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: OCTUBRE 01 DE 1999				HORA: 11:45				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA:MONDOMO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA:MONDOMITO				SITIO: 38A			
ALTITUD:1395m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,098				VELOCIDAD MEDIA 0,351984 m/s				ANCHOS: L.A.=1m; C1=8m; C2=12m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=1,09; P2 I=18 y P2 D=15			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,14	0,08	22	0,73	0,374607	0,374607	0,374607	0,13	0,20	0,026	0,009739773
0,20	0,12	0,07	22,00	0,73	0,374607	0,374607	0,483728	0,11	0,20	0,022	0,010642023
0,40	0,10	0,06	35,00	1,17	0,59285	0,59285	0,459073	0,09	0,20	0,018	0,00826332
0,60	0,08	0,05	19,00	0,63	0,325297	0,325297	0,459073	0,08	0,20	0,016	0,007345173
0,80	0,08	0,05	35,00	1,17	0,59285	0,59285	0,315925	0,075	0,20	0,015	0,004738875
1,00	0,07	0,04	0	0,00	0,039	0,039	0,0195	0,035	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,040729165
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: OCTUBRE 01 DE 1999				HORA: 11:15				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA:MONDOMO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: SAN PABLO				SITIO:51B			
ALTITUD:1328m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,309				VELOCIDAD MEDIA 0,660158 m/s				ANCHOS: L.A.=1,7m; C1=9m; C2=18m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=1,33; P2 I=25 y P2 D=20			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,23	0,14	15	0,50	0,25955	0,25955	0,61221	0,225	0,30	0,068	0,041324175
0,30	0,22	0,13	57,00	1,90	0,96487	0,96487	0,93105	0,31	0,30	0,093	0,08658765
0,60	0,40	0,24	53,00	1,77	0,89723	0,89723	0,96487	0,425	0,30	0,128	0,123020925
0,90	0,45	0,27	61,00	2,03	1,03251	1,03251	1,057875	0,435	0,30	0,131	0,138052688
1,20	0,42	0,25	64,00	2,13	1,08324	1,08324	0,77886	0,39	0,30	0,117	0,09112662
1,50	0,36	0,22	28,00	0,93	0,47448	0,47448	0,25674	0,22	0,20	0,044	0,01129656
1,70	0,08	0,05	0	0,00	0,039	0,039	0,0195	0,04	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,491408618

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: DICIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 10:30				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: SAN PABLO				SITIO: 51B			
ALTITUD: 1328m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,444				VELOCIDAD MEDIA 0,219486 m/s				ANCHOS: L.A.=3,45m; C1=11m; C2=22m.			
OBSERVA OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=1,33; P2 I=25 y P2 D=20			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,62	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,102055	0,60	0,30	0,179	0,01822
0,30	0,57	0,12	12,00	0,40	0,21024	0,16511	0,24927	0,56	0,40	0,224	0,05584
		0,47	6,00	0,20	0,11998						
0,70	0,55	0,11	14,00	0,47	0,24311	0,33343	0,34900	0,55	0,40	0,220	0,07678
		0,45	25,00	0,83	0,42375						
1,10	0,55	0,11	19,00	0,63	0,32229	0,36457	0,35188	0,52	0,40	0,208	0,07319
		0,45	24,00	0,80	0,40684						
1,50	0,49	0,30	20,00	0,67	0,33920	0,33920	0,32229	0,45	0,40	0,178	0,05737
1,90	0,40	0,24	18,00	0,60	0,30538	0,30538	0,24620	0,37	0,40	0,148	0,03644
2,30	0,34	0,20	11,00	0,37	0,18701	0,18701	0,22929	0,31	0,40	0,122	0,02797
2,70	0,27	0,16	16,00	0,53	0,27156	0,27156	0,22083	0,24	0,40	0,096	0,02120
3,10	0,21	0,12	10,00	0,33	0,17010	0,17010	0,10455	0,11	0,35	0,037	0,00384
3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0,00	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,37084382
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: DICIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 11:45				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA: QUINAMAYO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: CACHIMBAL				SITIO: 21A			
ALTITUD: 1155m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,273				VELOCIDAD MEDIA 0,457748 m/s				ANCHOS: L.A.=4,25m; C1=13m; C2=25m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ								PENDIENTES(%): P1=5; P2 I=15 y P2D=15			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,03900	0,099965	0,135	0,40	0,054	0,00540
0,40	0,27	0,17	9,00	0,30	0,16093	0,16093	0,317705	0,26	0,40	0,104	0,03304
0,80	0,25	0,15	28,00	0,93	0,47448	0,47448	0,49139	0,27	0,40	0,108	0,05307
1,20	0,29	0,17	30,00	1,00	0,50830	0,50830	0,516755	0,305	0,40	0,122	0,06304
1,60	0,32	0,19	31,00	1,03	0,52521	0,52521	0,685855	0,34	0,40	0,136	0,09328
2,00	0,36	0,21	50,00	1,67	0,84650	0,84650	0,905685	0,35	0,40	0,140	0,12680
2,40	0,34	0,20	57,00	1,90	0,96487	0,96487	0,79577	0,32	0,40	0,128	0,10186
2,80	0,30	0,18	37,00	1,23	0,62667	0,62667	0,500638	0,295	0,40	0,118	0,05908
3,20	0,29	0,17	22,00	0,73	0,37461	0,37461	0,517548	0,24	0,40	0,096	0,04968
3,60	0,19	0,11	39,00	1,30	0,66049	0,66049	0,476457	0,155	0,40	0,062	0,02954
4,00	0,12	0,07	17,00	0,57	0,29242	0,29242	0,165712	0,06	0,25	0,015	0,00249
4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,617270352

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: DICIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 13:40				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA:QUINAMAYO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA:LA AGUSTINA				SITIO: 3B			
ALTITUD:1351m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,273				VELOCIDAD MEDIA 0,203209 m/s				ANCHOS: L.A.=2,3m; C1=9m; C2=14m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ				PENDIENTES(%): P1=16,5; P2 I=45 y P2 D=70				P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.			
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,215022	0,235	0,25	0,059	0,012632523
0,25	0,47	0,28	23,00	0,77	0,39104	0,391043	0,415852	0,445	0,40	0,178	0,074021597
0,65	0,42	0,25	26,00	0,87	0,44066	0,44066	0,32545	0,38	0,40	0,152	0,0494684
1,05	0,34	0,20	12,00	0,40	0,21024	0,21024	0,218458	0,3	0,40	0,120	0,026215
1,45	0,26	0,15	13,00	0,43	0,22668	0,226677	0,243113	0,185	0,40	0,074	0,017990387
1,85	0,11	0,07	15,00	0,50	0,25955	0,25955	0,149275	0,075	0,40	0,030	0,00447825
2,25	0,04	0,02	0,00	0,00	0,039	0,039	0,039	0,02	0,05	0,001	3,9E-05
2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,18485
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: DICIEMBRE 10 DE 1999				HORA: 14:35				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA:MONDOMO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: MONDOMITO				SITIO:38A			
ALTITUD: 1395m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:30s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,168				VELOCIDAD MEDIA 0,24306 m/s				ANCHOS: L.A.=0,8m; C1=10m; C2=20m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ Y HUBERTO ORTIZ ORDOÑEZ				PENDIENTES(%): P1=1,09; P2 I=18 y P2 D=15				P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.			
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,165712	0,075	0,05	0,004	0,000621419
0,05	0,15	0,08	17,00	0,57	0,292423	0,292423	0,300642	0,135	0,10	0,014	0,004058663
0,15	0,12	0,07	18,00	0,60	0,30886	0,30886	0,349952	0,17	0,15	0,026	0,008923768
0,30	0,22	0,12	23,00	0,77	0,391043	0,391043	0,382825	0,235	0,15	0,035	0,013494581
0,45	0,25	0,13	22,00	0,73	0,374607	0,374607	0,325297	0,175	0,15	0,026	0,008539038
0,60	0,10	0,06	16,00	0,53	0,275987	0,275987	0,157493	0,05	0,20	0,010	0,001574933
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,037212401

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 14 DE 2000				HORA: 10:15				MICROCUENCA: EL PAILON (Los Canelos)			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: SANTA BARBARA				SITIO: En desembocadura (6748 m del nacim)			
ALTITUD: 1340m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,104				VELOCIDAD MEDIA 0,23040 m/s				ANCHOS: L.A.=1,8m; C1= 5 m; C2= 9 m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=0,80; P2 I=30 y P2 D=45							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.= Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,03900	0,03	0,40	0,012	0,000468
0,40	0,06	0,04	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,24145	0,075	0,20	0,015	0,00362175
0,60	0,09	0,05	6,00	0,15	0,44390	0,44390	0,44390	0,095	0,20	0,019	0,0084341
0,80	0,10	0,06	6,00	0,15	0,44390	0,44390	0,35173	0,12	0,20	0,024	0,0084414
1,00	0,14	0,08	20,00	0,50	0,25955	0,25955	0,30270	0,155	0,20	0,031	0,009383584
1,20	0,17	0,10	27,00	0,68	0,34584	0,34584	0,19242	0,165	0,20	0,033	0,006349901
1,40	0,16	0,10	17,00	0,43	0,03900	0,03900	0,24145	0,115	0,20	0,023	0,00555335
1,60	0,07	0,07	1,00	0,03	0,44390	0,44390	0,24145	0,055	0,20	0,011	0,00265595
1,80	0,04	0,02	0,00	0,00	0,039	0,039	0,0195	0,02	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,04491
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 14 DE 2000				HORA: 15:50				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: SAN PABLO				SITIO: 51B			
ALTITUD: 1328m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,402				VELOCIDAD MEDIA 0,51537 m/s				ANCHOS: L.A.=3,6m; C1=11m; C2=22m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=1,33; P2 I=25 y P2D=20							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.= Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,039	0,039	0,24145	0,17	0,40	0,068	0,0164186
0,40	0,34	0,20	5,00	0,13	0,44390	0,4439	0,314743	0,42	0,40	0,168	0,05287674
0,80	0,50	0,30	14,00	0,35	0,18559	0,185585	0,247223	0,5	0,40	0,200	0,0494445
1,20	0,50	0,30	24,00	0,60	0,30886	0,30886	0,247223	0,47	0,40	0,188	0,04647783
1,60	0,44	0,26	14,00	0,35	0,18559	0,185585	0,179421	0,37	0,40	0,148	0,026554345
2,00	0,30	0,18	13,00	0,33	0,17326	0,173258	0,884668	0,33	0,40	0,132	0,11677611
2,40	0,36	0,22	47,00	1,18	1,59608	1,596078	0,890831	0,41	0,40	0,164	0,146096325
2,80	0,46	0,28	14,00	0,35	0,18559	0,185585	0,93522	0,42	0,40	0,168	0,15711696
3,20	0,38	0,23	54,00	1,35	1,68486	1,684855	1,027676	0,36	0,40	0,144	0,14798538
3,60	0,34	0,20	29,00	0,73	0,370498	0,370498	0,185249	0,17	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,75974679
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 15 DE 2000				HORA: 8:37				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: MONDOMITO				SITIO: 38B			
ALTITUD: 1395m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,083				VELOCIDAD MEDIA 0,261354				ANCHOS: L.A.=1,0m; C1=10m; C2=20m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=0,98; P2 I=55 y P2 D=45							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.= Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,039	0,161603	0,065	0,20	0,013	0,002100833
0,20	0,13	0,08	22,00	0,55	0,28421	0,284205	0,370888	0,125	0,20	0,025	0,009272188
0,40	0,12	0,07	36,00	0,90	0,45757	0,45757	0,482935	0,085	0,20	0,017	0,008209895
0,60	0,05	0,03	40,00	1,00	0,50830	0,5083	0,383925	0,04	0,20	0,008	0,0030714
0,80	0,03	0,02	20,00	0,50	0,25955	0,25955	0,149275	0,015	0,20	0,003	0,000447825
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,02310214

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 14 DE 2000				HORA: 15:15				MICROCUEENCA: SAN PABLO			
SUBCUEENCA: TIEMBLA				CUEENCA: MONDOMO				GRAN CUEENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: SAN PABLO/EL PEDREGAL				SITIO: En desembocadura (7620 m del nacim)			
ALTITUD: 1327m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,331				VELOCIDAD MEDIA 0,31461 m/s				ANCHOS: L.A.: 3,2m; C1=9,5m.; C2=19,3m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=2,40; P2 I=20 y P2 D=80				P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.			
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,21091	0,035	0,40	0,014	0,002952775
0,40	0,07	0,04	30,00	0,75	0,38283	0,38283	0,38899	0,125	0,40	0,050	0,019449438
0,80	0,18	0,11	31,00	0,78	0,39515	0,39515	0,41953	0,21	0,40	0,084	0,035240205
1,20	0,24	0,14	11,00	0,28	0,44390	0,44390	0,37022	0,325	0,40	0,130	0,048128113
1,60	0,41	0,25	23,00	0,58	0,29653	0,29653	0,49754	0,455	0,40	0,182	0,09055137
2,00	0,50	0,30	55,00	1,38	0,69854	0,69854	0,49754	0,5	0,40	0,200	0,099507
2,40	0,50	0,30	23,00	0,58	0,29653	0,29653	0,27804	0,46	0,40	0,184	0,05115959
2,80	0,42	0,25	20,00	0,50	0,25955	0,25955	0,14928	0,21	0,40	0,084	0,0125391
3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,35953
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 15 DE 2000				HORA: 9:50				MICROCUEENCA:			
SUBCUEENCA: LA CHAPA				CUEENCA: QUINAMAYO				GRAN CUEENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: MANDIVA				SITIO: Antes de desembocadura			
ALTITUD: 1103m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,295				VELOCIDAD MEDIA 0,46489 m/s				ANCHOS: L.A.=3,5m; C1=14m; C2:50m.			
OBSERVA OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=0,80; P2 I=45 y P2 D=20				P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.			
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,29902	0,195	0,50	0,098	0,029153963
0,50	0,39	0,23	44,00	1,10	0,55903	0,55903	0,65415	0,405	0,50	0,203	0,132465122
1,00	0,42	0,25	59,00	1,48	0,74927	0,74927	0,74293	0,39	0,50	0,195	0,144870619
1,50	0,36	0,22	58,00	1,45	0,73659	0,73659	0,70488	0,315	0,50	0,158	0,111018403
2,00	0,27	0,16	53,00	1,33	0,67317	0,67317	0,62878	0,24	0,50	0,120	0,07545405
2,50	0,21	0,13	46,00	1,15	0,58440	0,58440	0,47128	0,165	0,50	0,083	0,038808006
3,00	0,12	0,07	28,00	0,70	0,35817	0,35817	0,19859	0,06	0,50	0,030	0,00595755
3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,53780
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 15 DE 2000				HORA: 10:50				MICROCUEENCA: MANDIVA			
SUBCUEENCA: LA CHAPA				CUEENCA: QUINAMAYO				GRAN CUEENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: MANDIVA				SITIO: Antes de desembocadura de Chapa			
ALTITUD: 1103m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,286				VELOCIDAD MEDIA 0,214161 m/s				ANCHOS: L.A.=5,2m; C1=15m ; C2:130m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=0,80; P2 I=45 y P2 D=20				P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.			
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,12	0,07	0	0,00	0,03900	0,039	0,074429	0,25	0,50	0,125	0,009303594
0,50	0,38	0,23	7,00	0,18	0,10986	0,109858	0,209359	0,44	0,50	0,220	0,046058925
1,00	0,50	0,30	24,00	0,60	0,30886	0,30886	0,364334	0,5	0,50	0,250	0,091083438
1,50	0,50	0,30	33,00	0,83	0,41981	0,419808	0,35817	0,495	0,50	0,248	0,088647075
2,00	0,49	0,29	23,00	0,58	0,29653	0,296533	0,302696	0,42	0,50	0,210	0,063566213
2,50	0,35	0,21	24,00	0,60	0,30886	0,30886	0,333515	0,305	0,50	0,153	0,050861038
3,00	0,26	0,16	28,00	0,70	0,35817	0,35817	0,345843	0,24	0,50	0,120	0,0415011
3,50	0,22	0,13	26,00	0,65	0,33352	0,333515	0,290369	0,19	0,50	0,095	0,027585031
4,00	0,16	0,10	19,00	0,48	0,24722	0,247223	0,168418	0,14	0,50	0,070	0,011789225
4,50	0,12	0,07	5,00	0,13	0,08961	0,089613	0,064306	0,085	0,50	0,043	0,002733016
5,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,039	0,025	0,20	0,005	0,000195
5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,433323653

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 15 DE 2000				HORA: 11:25				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA: QUINAMAYO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: CACHIMBAL				SITIO: 21A			
ALTITUD: 1155m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,316				VELOCIDAD MEDIA 0,20912 m/s				ANCHOS: L.A.=3,6m; C1=10m; C2=21m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1= 5; P2 I=15 y P2 D=15							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,17393	0,22	0,40	0,088	0,01530584
0,40	0,44	0,26	24,00	0,60	0,30886	0,30886	0,33352	0,43	0,40	0,172	0,05736458
0,80	0,42	0,25	28,00	0,70	0,35817	0,35817	0,40787	0,41	0,40	0,164	0,06689068
1,20	0,40	0,24	36,00	0,90	0,45757	0,45757	0,38322	0,40	0,40	0,158	0,06054797
1,60	0,39	0,23	24,00	0,60	0,30886	0,30886	0,28421	0,39	0,40	0,154	0,04376757
2,00	0,38	0,23	20,00	0,50	0,25955	0,25955	0,19989	0,34	0,40	0,136	0,0271847
2,40	0,30	0,18	10,00	0,25	0,14023	0,14023	0,14023	0,21	0,40	0,084	0,0117789
2,80	0,12	0,07	10,00	0,25	0,14023	0,14023	0,09974	0,10	0,40	0,040	0,0039894
3,20	0,08	0,05	2,00	0,05	0,05925	0,05925	0,04912	0,04	0,40	0,016	0,00078596
3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,00	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,28762
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 15 DE 2000				HORA: 15:50				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA: MONDOMO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: SAN PABLO				SITIO: 51B			
ALTITUD: 1328m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,451				VELOCIDAD MEDIA 0,116435 m/s				ANCHOS: L.A.=3,6m; C1=9m; C2=15m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=1,33; P2 I=25 y P2 D=20							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,039	0,059245	0,245	0,40	0,098	0,00580601
0,40	0,49	0,29	4,00	0,10	0,07949	0,07949	0,138701	0,490	0,40	0,196	0,027185445
0,80	0,49	0,29	15,00	0,38	0,19791	0,197913	0,179421	0,490	0,40	0,196	0,035166565
1,20	0,49	0,29	12,00	0,30	0,16093	0,16093	0,135394	0,480	0,40	0,192	0,0259956
1,60	0,47	0,28	7,00	0,18	0,10986	0,109858	0,084551	0,490	0,40	0,196	0,016572045
2,00	0,51	0,10	3,00	0,08	0,06937	0,059245	0,082021	0,525	0,40	0,210	0,017224331
		0,41	1,00	0,03	0,04912						
2,40	0,54	0,11	8,00	0,20	0,11998	0,104796	0,151354	0,510	0,40	0,204	0,030876293
		0,43	5,00	0,13	0,08961						
2,80	0,48	0,29	15,00	0,38	0,19791	0,197913	0,191749	0,430	0,40	0,172	0,032980785
3,20	0,38	0,23	14,00	0,35	0,18559	0,185585	0,117354	0,295	0,40	0,118	0,013847743
3,60	0,21	0,13	1,00	0,03	0,04912	0,049123	0,024561	0,105	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,205654816
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000				HORA: 8:10				MICROCUENCA: CHONTADURO			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA: QUINAMAYO				GRAN CUENCA: CAUCA			
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA: MANDIVA				SITIO: En desembocadura			
ALTITUD: 1268m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO: 40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,101				VELOCIDAD MEDIA 0,109687 m/s				ANCHOS: L.A.=1,2m; C1=4m; C2=8m.			
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=7,20; P2 I=70 y P2 D=70							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,15	0,09	9	0,23	0,13010	0,130103	0,15168	0,145	0,20	0,029	0,00440
0,20	0,14	0,08	13,00	0,33	0,17326	0,173258	0,167094	0,145	0,20	0,029	0,00485
0,40	0,15	0,09	12,00	0,30	0,16093	0,16093	0,155639	0,130	0,20	0,026	0,00405
0,60	0,11	0,07	11,00	0,28	0,15035	0,150348	0,11998	0,100	0,20	0,020	0,00240
0,80	0,09	0,05	5,00	0,13	0,08961	0,089613	0,089613	0,075	0,20	0,015	0,00134
1,00	0,06	0,04	5,00	0,13	0,08961	0,089613	0,064306	0,035	0,20	0,007	0,00045
1,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0,005	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,017484978

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 15 DE 2000				HORA:12:05				MICROCUCIENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA:MONDOMO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILCHAO				CORREGIMIENTO: MONDOMO				SITIO: 43A			
ALTITUD: 1356m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,220				VELOCIDAD MEDIA 0,38031 m/s				ANCHOS:L.A.=0,6m; C1=6,8m; C2=12,8m.			
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=0,90; P2 I=25 y P2 D=30							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,39413	0,11	0,10	0,011	0,004138404
0,10	0,21	0,13	59,00	1,48	0,74927	0,74927	0,71122	0,24	0,10	0,024	0,01671367
0,20	0,26	0,16	53,00	1,33	0,67317	0,67317	0,57171	0,26	0,10	0,026	0,014578669
0,30	0,25	0,15	37,00	0,93	0,47025	0,47025	0,41421	0,25	0,10	0,025	0,010355281
0,40	0,25	0,15	28,00	0,70	0,35817	0,35817	0,23908	0,23	0,10	0,023	0,005498725
0,50	0,21	0,13	8,00	0,20	0,11998	0,11998	0,19590	0,18	0,10	0,018	0,003428228
0,60	0,14	0,08	23,00	0,58	0,27182	0,27182	0,13591	0,07	0,00	0,000	0
CAUDAL TOTAL											0,05471
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000				HORA:8:35				MICROCUCIENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA:QUINAMAYO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: LA AGUSTINA				SITIO: 16A			
ALTITUD: 1235m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,181				VELOCIDAD MEDIA 0,24562 m/s				ANCHOS:L.A.=4m; C1=13,5m; C2=18m.			
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=7,20 ; P2 I=55 y P2 D=81							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,14	0,08	0	0,00	0,03900	0,03900	0,06937	0,16	0,50	0,080	0,00555
0,50	0,18	0,11	6,00	0,15	0,09974	0,09974	0,17348	0,22	0,50	0,108	0,01865
1,00	0,25	0,15	19,00	0,48	0,24722	0,24722	0,28421	0,25	0,50	0,125	0,03553
1,50	0,25	0,15	25,00	0,63	0,32119	0,32119	0,39572	0,26	0,50	0,128	0,05045
2,00	0,26	0,16	37,00	0,93	0,47025	0,47025	0,46391	0,23	0,50	0,115	0,05335
2,50	0,20	0,12	36,00	0,90	0,45757	0,45757	0,39554	0,16	0,50	0,080	0,03164
3,00	0,12	0,07	26,00	0,65	0,33352	0,33352	0,27804	0,09	0,50	0,043	0,01182
3,50	0,05	0,03	17,00	0,43	0,22257	0,22257	0,13078	0,03	0,50	0,013	0,00163
4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,00	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,20862
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000				HORA:9:26				MICROCUCIENCA: LA CASCADA			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA:QUINAMAYO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILCHAO				VEREDA: LA AGUSTINA				SITIO: 12B Puente Panamericana			
ALTITUD: 1343m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,115				VELOCIDAD MEDIA 0,157398 m/s				ANCHOS:L.A.=4,9m; C1=8m; C2=13m.			
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUÑEZ				PENDIENTES(%): P1=13,0; P2 I=20 y P2 D=55							
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,039	0,044061	0,065	0,70	0,046	0,00200
0,70	0,13	0,08	1,00	0,03	0,04912	0,049123	0,166664	0,115	0,70	0,081	0,01342
1,40	0,10	0,06	22,00	0,55	0,28421	0,284205	0,25955	0,090	0,70	0,063	0,01635
2,10	0,08	0,05	18,00	0,45	0,23490	0,234895	0,265714	0,090	0,70	0,063	0,01674
2,80	0,10	0,06	23,00	0,58	0,29653	0,296533	0,241059	0,100	0,70	0,070	0,01687
3,50	0,10	0,06	14,00	0,35	0,18559	0,185585	0,167966	0,140	0,70	0,098	0,01646
4,20	0,18	0,11	11,00	0,28	0,15035	0,150348	0,094674	0,090	0,70	0,063	0,00596
4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,087812086

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000			HORA: 11:00			MICROCUENCA:					
SUBCUENCA: LA CHAPA			CUENCA: QUINAMAYO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA: LA AGUSTINA			SITIO: 3B					
ALTITUD: 1351 m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,193			VELOCIDAD MEDIA 0,21572 m/s			ANCHOS: L.A.=1,8m; C1=8m; C2=13m					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1=16,50 ; P2 l=45 y P2 D=70					
P2 l: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,19	0,11	11	0,28	0,15035	0,15035	0,36737	0,19	0,30	0,057	0,02094
0,30	0,19	0,11	46,00	1,15	0,58440	0,58440	0,46512	0,24	0,30	0,071	0,03279
0,60	0,28	0,17	27,00	0,68	0,34584	0,34584	0,23291	0,27	0,30	0,080	0,01852
0,90	0,25	0,15	8,00	0,20	0,11998	0,11998	0,20826	0,21	0,30	0,062	0,01281
1,20	0,16	0,10	23,00	0,58	0,29653	0,29653	0,17283	0,13	0,30	0,038	0,00648
1,50	0,09	0,05	1,00	0,03	0,04912	0,04912	0,04406	0,05	0,30	0,014	0,00059
1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,00	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,09213
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000			HORA: 9:50			MICROCUENCA: LA AGUSTINA					
SUBCUENCA: LA CHAPA			CUENCA: QUINAMAYO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA: LA AGUSTINA			SITIO: Puente Panamericana					
ALTITUD : 1345 m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,112			VELOCIDAD MEDIA 0,165542 m/s			ANCHOS: L.A.=1,85m; C1=4,5m; C2=11,5m					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1=13,0; P2 l=55 y P2 D=55					
P2 l: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,039	0,074429	0,035	0,30	0,011	0,00078
0,30	0,07	0,04	7,00	0,18	0,10986	0,109858	0,11998	0,110	0,30	0,033	0,00396
0,60	0,15	0,09	9,00	0,23	0,13010	0,130103	0,170171	0,150	0,30	0,045	0,00766
0,90	0,15	0,09	16,00	0,40	0,21024	0,21024	0,228731	0,135	0,30	0,041	0,00926
1,20	0,12	0,07	19,00	0,48	0,24722	0,247223	0,284205	0,105	0,30	0,032	0,00895
1,50	0,09	0,05	25,00	0,63	0,32119	0,321188	0,284205	0,090	0,25	0,023	0,00639
1,75	0,09	0,05	19,00	0,48	0,24722	0,247223	0,143111	0,045	0,10	0,005	0,00064
1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,03765
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000			HORA: 15:00			MICROCUENCA: LOS CANELOS (Pailon)					
SUBCUENCA: TIEMBLA			CUENCA: MONDOMO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA: EL PEDREGAL			SITIO: En desembocadura					
ALTITUD : 1340 m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,091			VELOCIDAD MEDIA 0,248742 m/s			ANCHOS: L.A.=1,3m; C1=4,5m; C2=9,3m					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1=0,80; P2 l=30 y P2 D=45					
P2 l: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,09	0,05	0	0,00	0,03900	0,039	0,094674	0,085	0,20	0,017	0,00161
0,20	0,08	0,05	11,00	0,28	0,15035	0,150348	0,241931	0,080	-0,16	-0,013	-0,00310
0,04	0,08	0,05	26,00	0,65	0,33352	0,333515	0,452614	0,100	0,56	0,056	0,02535
0,60	0,12	0,07	45,00	1,13	0,57171	0,571713	0,546348	0,115	0,20	0,023	0,01257
0,80	0,11	0,07	41,00	1,03	0,52098	0,520983	0,377939	0,095	0,20	0,019	0,00718
1,00	0,08	0,05	18,00	0,45	0,23490	0,234895	0,177438	0,080	0,20	0,016	0,00284
1,20	0,08	0,05	8,00	0,20	0,11998	0,11998	0,07949	0,040	0,10	0,004	0,00032
1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,04676

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000			HORA: 12:00			MICROCUENCA:					
SUBCUENCA: TIEMBLA			CUENCA: MONDOMO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA/CORREGIMIENTO: MONDOMO			SITIO: 43B					
ALTITUD: 1355 m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40 s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,170			VELOCIDAD MEDIA 0,14210 m/s			ANCHOS: L.A.=2,6m; C1=9m; C2=18m					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA						PENDIENTES(%): P1=0,4; P2 I=55 y P2 D=25					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,05418	0,08	0,40	0,030	0,00163
0,40	0,15	0,09	3,00	0,08	0,06937	0,06937	0,24459	0,18	0,40	0,072	0,01761
0,80	0,21	0,09	33,00	0,83	0,41981	0,41981	0,33968	0,21	0,40	0,084	0,02853
1,20	0,21	0,13	20,00	0,50	0,25955	0,25955	0,18470	0,21	0,40	0,082	0,01515
1,60	0,20	0,12	7,00	0,18	0,10986	0,10986	0,13010	0,20	0,40	0,078	0,01015
2,00	0,19	0,11	11,00	0,28	0,15035	0,15035	0,10986	0,17	0,40	0,066	0,00725
2,40	0,14	0,08	3,00	0,08	0,06937	0,06937	0,05418	0,12	0,20	0,023	0,00125
2,60	0,09	0,05	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,05	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,08156
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000			HORA: 15:20			MICROCUENCA:					
SUBCUENCA: TIEMBLA			CUENCA: MONDOMO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO			CORREGIMIENTO: MONDOMO			SITIO: 46B					
ALTITUD: 1342 m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,203			VELOCIDAD MEDIA 0,17066 m/s			ANCHOS: L.A.=4,75m; C1=8m; C2=13m					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1=0,80; P2 I=30 y P2 D=15					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,35	0,21	2	0,05	0,05925	0,05925	0,14707	0,32	0,50	0,158	0,02316
0,50	0,28	0,17	18,00	0,45	0,23490	0,23490	0,28421	0,25	0,50	0,123	0,03482
1,00	0,21	0,13	26,00	0,65	0,33352	0,33352	0,33968	0,20	0,50	0,100	0,03397
1,50	0,19	0,11	27,00	0,68	0,34584	0,34584	0,29037	0,20	0,50	0,100	0,02904
2,00	0,21	0,13	18,00	0,45	0,23490	0,23490	0,27804	0,21	0,50	0,103	0,02850
2,50	0,20	0,12	25,00	0,63	0,32119	0,32119	0,19528	0,20	0,50	0,100	0,01953
3,00	0,20	0,12	3,00	0,08	0,06937	0,06937	0,06431	0,18	0,50	0,090	0,00579
3,50	0,16	0,10	2,00	0,05	0,05925	0,05925	0,04912	0,15	0,50	0,075	0,00368
4,00	0,14	0,08	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,03900	0,12	0,75	0,086	0,00336
4,75	0,09	0,05	0,00	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,05	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,18185
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: FEBRERO 16 DE 2000			HORA: 16:30			MICROCUENCA:					
SUBCUENCA: MONDOMO			CUENCA: MONDOMO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA: EL PEDREGAL			SITIO: En desembocadura de Tiembala					
ALTITUD: 1318 m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,608			VELOCIDAD MEDIA 0,548983 m/s			ANCHOS: L.A.=17m; C1=30m; C2=80m					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1= 2,4; P2 I=15 y P2 D=15					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,30	0,18	35	0,88	0,44489	0,444888	0,695367	0,465	2,50	1,163	0,80836
2,50	0,63	0,13	74,00	1,85	0,93951	0,945846	0,876093	0,730	2,50	1,825	1,59887
		0,50	75,00	1,88	0,95219						
5,00	0,83	0,17	60,00	1,50	0,76195	0,806339	0,793656	0,755	2,50	1,888	1,49803
		0,66	67,00	1,68	0,85073						
7,50	0,68	0,14	62,00	1,55	0,78732	0,780974	0,780974	0,640	2,50	1,600	1,24956
		0,54	61,00	1,53	0,77463						
10,00	0,60	0,12	62,00	1,55	0,78732	0,780974	0,692196	0,610	2,50	1,525	1,05560
		0,48	61,00	1,53	0,77463						
12,50	0,62	0,12	49,00	1,23	0,62244	0,603419	0,39802	0,660	2,50	1,650	0,65673
		0,50	46,00	1,15	0,58440						
15,00	0,70	0,14	11,00	0,28	0,15035	0,192621	0,125933	0,600	2,00	1,200	0,15112
		0,56	18,00	0,45	0,23490						
17,00	0,50	0,30	2,00	0,05	0,05925	0,059245	0,029623	0,250	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											7,01827

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000			HORA:12:15			MICROCUENCA:					
SUBCUENCA: LA CHAPA			CUENCA:QUINAMAYO			GRAN CUENCA:CAUCA					
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA: LA AGUSTINA			SITIO: 3B					
ALTITUD:1351m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO:40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,128			VELOCIDAD MEDIA 0,468052 m/s			ANCHOS:L.A.=2,15m; C=8,9m; C=12,7m.					
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUNEZ						PENDIENTES(%): P1=16,5; P2 I=45 y P2 D=70					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
						VELOCIDAD					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,457546	0,095	0,40	0,038	0,01739
0,40	0,19	0,11	69	1,73	0,87609	0,87609	0,933164	0,205	0,40	0,082	0,07652
0,80	0,22	0,13	78	1,95	0,99024	0,99024	0,774633	0,210	0,40	0,084	0,06507
1,20	0,20	0,12	44	1,10	0,55903	0,55903	0,533665	0,155	0,40	0,062	0,03309
1,60	0,11	0,07	40	1,00	0,50830	0,50830	0,39625	0,080	0,40	0,032	0,01268
2,00	0,05	0,03	22	0,55	0,28421	0,28421	0,16160	0,025	0,15	0,004	0,00061
2,15	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,20535
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000			HORA:12:46			MICROCUENCA:LA AGUSTINA					
SUBCUENCA: LA CHAPA			CUENCA:QUINAMAYO			GRAN CUENCA:CAUCA					
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA: LA AGUSTINA			SITIO:Puente de la Panamericana.					
ALTITUD:1345m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO:40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,126			VELOCIDAD MEDIA 0,330343 m/s			ANCHOS:L.A.=2,1m; C1=6,8m; C2=11,3m.					
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUNEZ						PENDIENTES(%): P1= 13,0 ; P2 I=45 y P2 D=65					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
						VELOCIDAD					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,204749	0,025	0,40	0,010	0,00205
0,40	0,05	0,03	29	0,73	0,37050	0,37050	0,426716	0,075	0,40	0,030	0,01280
0,80	0,10	0,06	38	0,95	0,48294	0,48294	0,654149	0,155	0,40	0,062	0,04056
1,20	0,21	0,13	65	1,63	0,82536	0,82536	0,66049	0,180	0,40	0,072	0,04756
1,60	0,15	0,09	39	0,98	0,49562	0,49562	0,287554	0,135	0,40	0,054	0,01553
2,00	0,12	0,07	4	0,10	0,07949	0,07949	0,059245	0,060	0,10	0,006	0,00036
2,10	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,0195	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,11884
0,80	0,20	0,12	29	0,73	0,37050	0,37050	0,401316	0,225	0,40	0,090	0,03612
1,20	0,25	0,15	34	0,85	0,43214	0,43214	0,327351	0,295	0,40	0,118	0,03863
1,60	0,34	0,20	17	0,43	0,22257	0,22257	0,253386	0,225	0,40	0,090	0,02280
2,00	0,11	0,07	22	0,55	0,28421	0,28421	0,228731	0,125	0,40	0,050	0,01144
2,40	0,14	0,08	13	0,33	0,17326	0,17326	0,126374	0,135	0,25	0,034	0,00427
2,65	0,13	0,08	4	0,10	0,07949	0,07949	0,039745	0,065	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,23210
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000			HORA:11:20			MICROCUENCA:					
SUBCUENCA: LA CHAPA			CUENCA:QUINAMAYO			GRAN CUENCA:CAUCA					
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO			VEREDA: LA AGUSTINA			SITIO: 3A					
ALTITUD:1417m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO:40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,163			VELOCIDAD MEDIA 0,217823 m/s			ANCHOS:L.A.=2,65m; C=6,7m; C=11,6m.					
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1=16,5; P2 I=65 y P2 D=90					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
						VELOCIDAD					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)	Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,099965	0,065	0,40	0,026	0,00260
0,40	0,13	0,08	12	0,30	0,16093	0,16093	0,265714	0,165	0,40	0,066	0,01754
0,80	0,20	0,12	29	0,73	0,37050	0,37050	0,401316	0,225	0,40	0,090	0,03612
1,20	0,25	0,15	34	0,85	0,43214	0,43214	0,327351	0,295	0,40	0,118	0,03863
1,60	0,34	0,20	17	0,43	0,22257	0,22257	0,253386	0,225	0,40	0,090	0,02280
2,00	0,11	0,07	22	0,55	0,28421	0,28421	0,228731	0,125	0,40	0,050	0,01144
2,40	0,14	0,08	13	0,33	0,17326	0,17326	0,126374	0,135	0,25	0,034	0,00427
2,65	0,13	0,08	4	0,10	0,07949	0,07949	0,039745	0,065	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,13339

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000				HORA:10:25				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA:QUINAMAYO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA:CACHIMBAL				SITIO: 21A			
ALTITUD:1155m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,258				VELOCIDAD MEDIA 0,398879 m/s				ANCHOS:L.A.=5,05m; C1=13m; C2=26m			
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUÑEZ								PENDIENTES(%): P1= 5,0; P2= 15 y P2 D=15			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,24443	0,075	0,50	0,038	0,00917
0,50	0,15	0,09	6	0,15	0,09974	0,44987	0,55201	0,220	0,50	0,110	0,06072
1,00	0,29	0,17	63	1,58	0,80000	0,65415	0,60342	0,285	0,50	0,143	0,08599
1,50	0,28	0,17	40	1,00	0,50830	0,55269	0,62561	0,305	0,50	0,153	0,09541
2,00	0,33	0,20	47	1,18	0,59708	0,69854	0,69854	0,350	0,50	0,175	0,12224
2,50	0,37	0,22	63	1,58	0,80000	0,69854	0,58500	0,370	0,50	0,185	0,10822
3,00	0,37	0,22	47	1,18	0,59708	0,47146	0,39016	0,355	0,50	0,178	0,06925
3,50	0,34	0,20	27	0,68	0,34584	0,30886	0,37167	0,320	0,50	0,160	0,05947
4,00	0,30	0,18	21	0,53	0,27188	0,43448	0,40674	0,255	0,50	0,128	0,05186
4,50	0,21	0,13	47	1,18	0,59708	0,37900	0,23948	0,155	0,50	0,078	0,01856
5,00	0,10	0,06	12	0,30	0,16093	0,09997	0,05973	0,100	0,05	0,005	0,00030
5,05	0,10	0,00	0	0,00	0,03900	0,01950	0,00975	0,050	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,68119
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000				HORA:13:08				MICROCUENCA:LA CASCADA			
SUBCUENCA: LA CHAPA				CUENCA:QUINAMAYO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA:LA AGUSTINA				SITIO: 12B Puente de la Panamericana			
ALTITUD:1343 m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,224				VELOCIDAD MEDIA 0,212291 m/s				ANCHOS:L.A.=3,45m; C1=9,4m; C2=13,3m			
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUÑEZ								PENDIENTES(%): P1=14,5; P2 l=20 y P2 D=55			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,04912	0,120	0,40	0,048	0,00236
0,40	0,24	0,14	2	0,05	0,05925	0,05925	0,05418	0,285	0,40	0,114	0,00618
0,80	0,33	0,20	1	0,03	0,04912	0,04912	0,11119	0,325	0,40	0,130	0,01445
1,20	0,32	0,19	13	0,33	0,17326	0,17326	0,36614	0,295	0,40	0,118	0,04320
1,60	0,27	0,16	44	1,10	0,55903	0,55903	0,57171	0,250	0,40	0,100	0,05717
2,00	0,23	0,14	46	1,15	0,58440	0,58440	0,52732	0,210	0,40	0,084	0,04430
2,40	0,19	0,11	37	0,93	0,47025	0,47025	0,30018	0,160	0,40	0,064	0,01921
2,80	0,13	0,08	9	0,23	0,13010	0,13010	0,08455	0,105	0,40	0,042	0,00355
3,20	0,08	0,05	0	0,00	0,03900	0,03900	0,03900	0,040	0,25	0,010	0,00039
3,45	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,19081
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000				HORA:14:38				MICROCUENCA:			
SUBCUENCA: TIEMBLA				CUENCA:MONDOMO				GRAN CUENCA:CAUCA			
MUNICIPIO:SANTANDER DE QUILICHAO				VEREDA:SAN PABLO				SITIO: 51B			
ALTITUD:1328m.s.n.m.				EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20				TIEMPO MEDIDO:40s			
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,484				VELOCIDAD MEDIA 0,133885 m/s				ANCHOS:L.A.=4,35m; C1=8,4m; C2=17,3m			
OBSERVADOR:HELBERTH SARRIA NUÑEZ								PENDIENTES(%): P1=1,33; P2 l=25 y P2D=20			
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1:avenida max.anual, C2: avenida max.en 50 años, L.A.=Lámina de agua.											
OBSERVACIONES						CALCULOS					
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Caudal (m3/s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,10	0,06	3	0,08	0,06937	0,069368	0,112729	0,390	0,60	0,234	0,02638
0,60	0,68	0,14	5	0,13	0,08961	0,15609	0,186247	0,655	0,60	0,393	0,07320
		0,54	17	0,43	0,22257						
1,20	0,63	0,13	12	0,30	0,16093	0,216404	0,194831	0,605	0,60	0,363	0,07072
		0,50	21	0,53	0,27188						
1,80	0,58	0,12	12	0,30	0,16093	0,173258	0,197913	0,560	0,60	0,336	0,06650
		0,46	14	0,35	0,18559						
2,40	0,54	0,11	16	0,40	0,21024	0,222568	0,207158	0,500	0,60	0,300	0,06215
		0,43	18	0,45	0,23490						
3,00	0,46	0,28	13	0,33	0,17326	0,191749	0,117905	0,430	1,20	0,516	0,06084
3,60	0,48	0,29	16	0,40	0,21024	0,21024	0,127151	0,440	0,60	0,264	0,03357
4,20	0,40	0,24	1	0,03	0,04912	0,044061	0,041531	0,200	0,15	0,030	0,00125
4,35	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,39460

DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000			HORA: 15:32			MICROCUENCA: SAN PABLO					
SUBCUENCA: TIEMBLA			CUENCA: MONDOMO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILCHAO			VEREDA: SAN PABLO			SITIO: Antes de la desembocadura					
ALTITUD : 1327 m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,397			VELOCIDAD MEDIA 0,32280 m/s			ANCHOS: L.A.=1,77m; C1=17m; C2=24m.					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1=2,40; P2 I=80 y P2 D=20					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.= Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,06937	0,08	0,30	0,024	0,00166
0,30	0,16	0,10	6	0,15	0,09974	0,09974	0,10480	0,25	0,30	0,074	0,00770
0,60	0,33	0,20	7	0,18	0,10986	0,10986	0,23401	0,38	0,30	0,114	0,02668
0,90	0,43	0,26	28	0,70	0,35817	0,35817	0,59177	0,48	0,30	0,143	0,08433
1,20	0,52	0,10	57	1,43	0,72390	0,825363	0,73659	0,48	0,30	0,144	0,10607
		0,42	73	1,83	0,92682						
1,50	0,44	0,26	51	1,28	0,64781	0,64781	0,56537	0,47	0,27	0,127	0,07175
1,77	0,50	0,30	38	0,95	0,48294	0,48294	0,26097	0,25	0,03	0,008	0,00196
1,80	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,00	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,30014
DATOS PARA AFORO DE CORRIENTES SUPERFICIALES											
FECHA: MARZO 17 DE 2000			HORA: 16:39			MICROCUENCA:					
SUBCUENCA: TIEMBLA			CUENCA: MONDOMO			GRAN CUENCA: CAUCA					
MUNICIPIO: SANTANDER DE QUILCHAO			CORREGIMIENTO: MONDOMO			SITIO: 43A					
ALTITUD: 1356m.s.n.m.			EQUIPO UTILIZADO: Molinete OTT-C20			TIEMPO MEDIDO: 40s					
PROFUNDIDAD AGUA (m): 0,308			VELOCIDAD MEDIA 0,34304 m/s			ANCHOS: L.A.=0,75m; C1=9m; C2=16m					
OBSERVADOR: HELBERTH SARRIA NUÑEZ						PENDIENTES(%): P1=0,90; P2 I=25 y P2 D=30					
P2 I: Pendiente margen izquierda, P2 D: Pendiente margen derecha, P1= pendiente longitudinal del cauce, C1: avenida max. anual, C2: avenida max. en 50 años, L.A.= Lámina de agua.											
OBSERVACIONES				CALCULOS							
Dist a Po (m)	Prof agua (m)	Prof med (m)	Revoluc	n	VELOCIDAD			Prof. Media (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
					Pto básico (m/s)	Media Vert (m/s)	Media sec. (m/s)				
0,00	0,26	0,16	30	0,75	0,38283	0,38283	0,56605	0,30	0,15	0,044	0,025047547
0,15	0,33	0,20	59	1,48	0,74927	0,74927	0,75561	0,34	0,15	0,051	0,038536046
0,30	0,35	0,21	60	1,50	0,76195	0,76195	0,50459	0,31	0,15	0,046	0,023084821
0,45	0,26	0,16	19	0,48	0,24722	0,24722	0,15830	0,30	0,15	0,045	0,007123275
0,60	0,34	0,20	3	0,08	0,06937	0,06937	0,05418	0,17	0,15	0,026	0,001381686
0,75	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,03900	0,01950	0,00	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,09517
		0,46	14	0,35	0,18559						
2,40	0,54	0,11	16	0,40	0,21024	0,222568	0,207158	0,500	0,60	0,300	0,06215
		0,43	18	0,45	0,23490						
3,00	0,46	0,28	13	0,33	0,17326	0,191749	0,117905	0,430	1,20	0,516	0,06084
3,60	0,48	0,29	16	0,40	0,21024	0,21024	0,127151	0,440	0,60	0,264	0,03357
4,20	0,40	0,24	1	0,03	0,04912	0,044061	0,041531	0,200	0,15	0,030	0,00125
4,35	0,00	0,00	0	0,00	0,03900	0,039	0,0195	0,000	0,00	0,000	0,00000
CAUDAL TOTAL											0,32310

## 8.4 ANEXO 4: FIGURAS Y TABLAS DE MACROINVERTEBRADOS

### 8.4.1 ABUNDANCIA ACUMULADA DE JULIO A DICIEMBRE EN LOS 8 SITIOS (4 A Y 4 B) DE LA CHAPA Y TIEMBLA

Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 3A desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB								
La Chapa				3A				
07/99-12/99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	log <sub>2</sub> ni/N	productos	Bioindicación	
<i>Chironomus</i>	240	0,2002	-1,6086	-0,3220	-2,3207	-0,4645	Eutrófico	2
<i>Simulium</i>	876	0,7306	-0,3139	-0,2293	-0,4528	-0,3308	Oligotrófico	9
<i>Leptonema</i>	22	0,0183	-3,9982	-0,0734	-5,7682	-0,1058	Oligomesotrófico	8
<i>Atopsyche</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Oligotrófico	9
<i>Smicridea</i>	3	0,0025	-5,9906	-0,0150	-8,6427	-0,0216	Oligomesotrófico	0
<i>Xiphocentron</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Oligotrófico	9
<i>Thraulodes</i>	4	0,0033	-5,7029	-0,0190	-8,2276	-0,0274	Oligotrófico	9
<i>Leptohyphes</i>	2	0,0017	-6,3961	-0,0107	-9,2276	-0,0154	Oligomesotrófico	7
<i>Cyloopus</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Oligomesotrófico	7
<i>Anchytarsus</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Oligotrófico	10
<i>Corydalus</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Mesotrófico	6
<i>Brechmorhoga</i>	4	0,0033	-5,7029	-0,0190	-8,2276	-0,0274	Mesotrófico	6
<i>Hetaerina</i>	7	0,0058	-5,1433	-0,0300	-7,4203	-0,0433	Oligomesotrófico	8
<i>Anacroneuria</i>	5	0,0042	-5,4798	-0,0229	-7,9057	-0,0330	Oligotrófico	10
<i>Tipula sp2</i>	2	0,0017	-6,3961	-0,0107	-9,2276	-0,0154	Mesoeutrófico	4
<i>Syrphidae,</i>	5	0,0042	-5,4798	-0,0229	-7,9057	-0,0330	Eutrófico	2
<i>Ephydra,</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Eutrófico	2
<i>Stratyomis,</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Mesoeutrófico	5
<i>Tropisternus,</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Mesoeutrófico	4
<i>Helochare</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Mesoeutrófico	0
<i>Laccophilus</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Oligomesotrófico	8
<i>Moribaetis</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Oligomesotrófico	8
<i>Ferrissia</i>	11	0,0092	-4,6913	-0,0430	-6,7682	-0,0621	Oligomesotrófico	7
<i>Tubifex</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Eutrófico	1
<i>Pontoscolex</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Eutrófico	2
<i>Dugesia</i>	4	0,0033	-5,7029	-0,0190	-8,2276	-0,0274	Mesotrófico	6
<i>Neochordodes</i>	1	0,0008	-7,0892	-0,0059	-10,2276	-0,0085	Oligotrófico	9
N = Densidad	1199						BMWP =	158
S = Riqueza	27						ASTP =	5,9
H' = Diversidad				0,92		1,33		
J = Equitatividad				0,28		0,28		

Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 3B desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB								
La Chapa				3B				
07/99-12/99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	Log <sub>2</sub> ni/N	productos	Biondicación	
<i>Chironomus</i>	2365	0,8965	-1,013	-0,3678	-1,4620	-0,5307	Eutrófico	2
<i>Simulium</i>	28	0,0106	-1,013	-0,3678	-1,4620	-0,5307	Oligotrófico	9
<i>Leptonema</i>	4	0,0015	-6,776	-0,0077	-9,7760	-0,0112	Mesotrófico	6
<i>Tubifex</i>	232	0,0879	-2,742	-0,1767	-3,9558	-0,2549	Eutrófico	1
<i>Pontoscolex</i>	9	0,0034	-5,6806	-0,0194	-8,1953	-0,0280	Eutrófico	2
N	2638						BMWP =	20
S	5						ASPT =	4,0
H'= Diversidad				0,92		1,33		
J = Equitatividad				0,57		0,57		

Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 21A desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB								
La Chapa			21A					
07/99-12/99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	Log <sub>2</sub> ni/N	productos	Bioindicación	
<i>Chironomus</i>	894	0,2650	-1,3279	-0,3519	-1,9157	-0,5077	Eutrófico	2
<i>Simulium</i>	2157	0,6395	-0,4471	-0,2859	-0,6450	-0,4125	Oligotrófico	9
<i>Ephydra</i>	1	0,0003	-8,1236	-0,0024	-11,7198	-0,0035	Eutrófico	2
<i>Tipula sp1.</i>	1	0,0003	-8,1236	-0,0024	-11,7198	-0,0035	Mesoeutrófico	4
<i>Limnophora sp1</i>	2	0,0006	-7,4304	-0,0044	-10,7198	-0,0064	Mesoeutrófico	3
<i>Syrphidae</i>	1	0,0003	-8,1236	-0,0024	-11,7198	-0,0035	Eutrófico	2
<i>Leptonema</i>	5	0,0015	-6,5141	-0,0097	-9,3979	-0,0139	Oligomesotrófico	8
<i>Baetis</i>	2	0,0006	-7,4304	-0,0044	-10,7198	-0,0064	Oligomesotrófico	8
<i>Piraliide</i>	1	0,0003	-8,1236	-0,0024	-11,7198	-0,0035	Oligotrófico	10
<i>Pelocoris</i>	1	0,0003	-8,1236	-0,0024	-11,7198	-0,0035	Oligomesotrófico	7
<i>Ferrissia</i>	5	0,0015	-6,5141	-0,0097	-9,3979	-0,0139	Mesotrófico	7
<i>Physa</i>	117	0,0347	-3,3614	-0,1166	-4,8495	-0,1682	Mesoeutrófico	3
<i>Tubifex</i>	28	0,0083	-4,7914	-0,0398	-6,9125	-0,0574	Eutrófico	1
<i>Pontoscolex</i>	8	0,0024	-6,0441	-0,0143	-8,7198	-0,0207	Eutrófico	2
<i>Drilocrius</i>	2	0,0006	-7,4304	-0,0044	-10,7198	-0,0064	Eutrófico	2
<i>Oligobdella</i>	148	0,0439	-3,1263	-0,1372	-4,5104	-0,1979	Mesoeutrófico	3
N	3373						BMWP =	73
S	16						ASPT =	4,6
H'=Índice de diversidad de Shannon				0,99		1,43		
J =Equitatividad				0,36		0,36		

Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 21B desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB								
La Chapa			21B					
07/99-12/99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	Log <sub>2</sub> ni/N	productos	Bioindicación	
<i>Chironomus</i>	1572	0,3854	-0,954	-0,36747	-1,3756	-0,530146	Eutrófico	2
<i>Simulium</i>	2381	0,5837	-0,538	-0,31424	-0,7766	-0,453346	Oligotrófico	9
<i>Leptonema</i>	4	0,0010	-6,927	-0,00679	-9,994	-0,0098	Oligomesotrófico	8
<i>Physa</i>	23	0,0056	-5,178	-0,0292	-7,4704	-0,042123	Mesoeutrófico	3
<i>Tubifex</i>	35	0,0086	-4,758	-0,04083	-6,8647	-0,058903	Eutrófico	1
<i>Oligobdella</i>	64	0,0157	-4,155	-0,06519	-5,994	-0,094047	Mesoeutrófico	3
N	4079						BMWP =	26
S	6						ASPT =	4,3
H' = Diversidad				0,82		1,19		
J = Equitatividad				0,46		0,46		

Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 38A desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Tiembla	38A						
07/99-12/99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
<i>Chironomus</i>	22	0,1106	-2,2023	-0,2435	-3,1772	-0,3512	Eutrófico 2
<i>Simulium</i>	7	0,0352	-3,3474	-0,1177	-4,8293	-0,1699	Oligotrófico 9
<i>Limnophora sp1.</i>	1	0,0050	-5,2933	-0,0266	-7,6366	-0,0384	Mesoeutrófico 3
<i>Leptonema</i>	27	0,1357	-1,9975	-0,2710	-2,8817	-0,3910	Oligomesotrófico 8
<i>Smicridea</i>	5	0,0251	-3,6839	-0,0926	-5,3147	-0,1335	Oligomesotrófico 0
<i>Triplectides</i>	4	0,0201	-3,9070	-0,0785	-5,6366	-0,1133	Oligomesotrófico 8
<i>Marilia</i>	2	0,0101	-4,6002	-0,0462	-6,6366	-0,0667	Oligotrófico 10
<i>Baetis</i>	6	0,0302	-3,5015	-0,1056	-5,0517	-0,1523	Oligomesotrófico 8
<i>Corydalus</i>	2	0,0101	-4,6002	-0,0462	-6,6366	-0,0667	Mesotrófico 6
<i>Hetaerina</i>	47	0,2362	-1,4432	-0,3408	-2,0820	-0,4917	Oligomesotrófico 8
<i>Pelocoris</i>	48	0,2412	-1,4221	-0,3430	-2,0517	-0,4949	Oligomesotrófico 7
<i>Rhagovelia</i>	5	0,0251	-3,6839	-0,0926	-5,3147	-0,1335	Oligomesotrófico 8
<i>Anacronuria</i>	3	0,0151	-4,1947	-0,0632	-6,0517	-0,0912	Oligotrófico 10
<i>Pontoscolex</i>	17	0,0854	-2,4601	-0,2102	-3,5492	-0,3032	Eutrófico 2
<i>Oligobdella</i>	3	0,0151	-4,1947	-0,0632	-6,0517	-0,0912	Mesoeutrófico 3
N	199						BMWP = 92
S	15						ASPT = 6,1
H' = Diversidad				2,14		3,09	
J = Equitatividad				0,79		0,79	

Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 38B desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Tiembla	38B						
07/99-12/99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
<i>Chironomus</i>	2444	0,8477	-0,1652	-0,1400	-0,2383	-0,2020	Eutrófico 2
<i>Simulium</i>	396	0,1374	-1,9852	-0,2727	-2,8640	-0,3934	Oligotrófico 9
<i>Tipula sp1.</i>	2	0,0007	-7,2734	-0,0050	-10,4934	-0,0073	Mesoeutrófico 4
<i>Limnophora sp1.</i>	1	0,0003	-7,9666	-0,0028	-11,4934	-0,0040	Mesoeutrófico 3
<i>Chrysops</i>	1	0,0003	-7,9666	-0,0028	-11,4934	-0,0040	Mesoeutrófico 5
<i>Leptonema</i>	1	0,0003	-7,9666	-0,0028	-11,4934	-0,0040	Oligomesotrófico 8
<i>Smicridea</i>	11	0,0038	-5,5687	-0,0212	-8,0339	-0,0307	Oligomesotrófico 0
<i>Tropisternus</i>	2	0,0007	-7,2734	-0,0050	-10,4934	-0,0073	Mesoeutrófico 4
<i>Anchitarsus</i>	1	0,0003	-7,9666	-0,0028	-11,4934	-0,0040	Oligotrófico 10
<i>Hetaerina</i>	4	0,0014	-6,5803	-0,0091	-9,4934	-0,0132	Oligomesotrófico 8
<i>Physa</i>	2	0,0007	-7,2734	-0,0050	-10,4934	-0,0073	Mesoeutrófico 3
<i>Tubifex</i>	13	0,0045	-5,4016	-0,0244	-7,7929	-0,0351	Eutrófico 1
<i>Pontoscolex</i>	1	0,0003	-7,9666	-0,0028	-11,4934	-0,0040	Eutrófico 2
<i>Drilocrius</i>	1	0,0003	-7,9666	-0,0028	-11,4934	-0,0040	Eutrófico 2
<i>Oligobdella</i>	3	0,0010	-6,8680	-0,0071	-9,9084	-0,0103	Mesoeutrófico 3
N	2883						BMWP = 64
S	15						ASPT = 4,3
H' = Diversidad				0,51		0,73	
J = Equitatividad				0,19		0,19	

Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 51A desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB								
Tiembla	51A							
07/99-12/99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación	
<i>Chironomus</i>	3573	0,6160	-0,4845	-0,2984	-0,6989	-0,4306	Eutrófico 2	
<i>Simulium</i>	2163	0,3729	-0,9864	-0,3678	-1,4230	-0,5307	Oligotrófico 9	
<i>Tipula sp2.</i>	1	0,0002	-8,6656	-0,0015	-12,5018	-0,0022	Mesoeutrófico 4	
<i>Ephydra</i>	1	0,0002	-8,6656	-0,0015	-12,5018	-0,0022	Eutrófico 2	
<i>Limnophora sp1</i>	3	0,0005	-7,5670	-0,0039	-10,9169	-0,0056	Mesoeutrófico 3	
<i>Physa</i>	5	0,0009	-7,0562	-0,0061	-10,1799	-0,0088	Mesoeutrófico 3	
<i>Tubifex</i>	16	0,0028	-5,8930	-0,0163	-8,5018	-0,0235	Eutrófico 1	
<i>Oligobdella</i>	38	0,0066	-5,0280	-0,0329	-7,2539	-0,0475	Mesoeutrófico 3	
N	5800						BMWP =	27
S	8						ASPT =	3,4
H' = Diversidad				0,73				1,05
J = Equitatividad				0,35				0,35

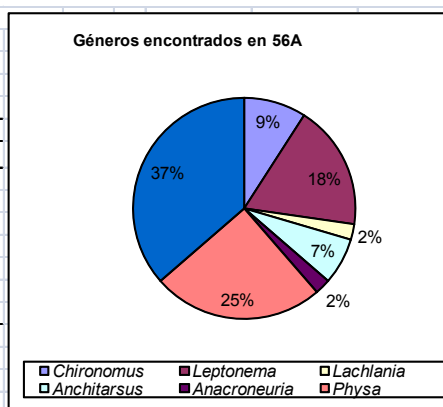
Abundancia acumulada y estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (MIB) en las 5 muestras mensuales (5 m<sup>2</sup>), obtenidas en 51B desde julio a diciembre de 1999. Densidad (N) = No. ind., Riqueza (S) = No. géneros, Diversidad (H') = expresada como log natural (ln) y como log en base 2 (log<sub>2</sub>), J = Equitatividad y BMWP y ASPT para Colombia.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB								
Tiembla	51B							
07/99-12/99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación	
<i>Chironomus</i>	3260	0,8450	-0,1684	-0,1423	-0,2430	-0,2053	Eutrófico 2	
<i>Simulium</i>	480	0,1244	-2,0841	-0,2593	-3,0067	-0,3741	Oligotrófico 9	
<i>Physa</i>	2	0,0005	-7,5648	-0,0039	-10,9136	-0,0057	Mesoeutrófico 3	
<i>Tubifex</i>	86	0,0223	-3,8036	-0,0848	-5,4874	-0,1223	Eutrófico 1	
<i>Oligobdella</i>	30	0,0078	-4,8567	-0,0378	-7,0067	-0,0545	Mesoeutrófico 3	
N	3858						BMWP =	18
S	5						ASPT =	3,6
H' = Diversidad				0,53				0,76
J = Equitatividad				0,33				0,33

## 8.4.2 ABUNDANCIA DE MACROINVERTEBRADOS EN LOS 24 SITIOS (12A Y 12B) AFECTADOS POR LAS 12 RALL

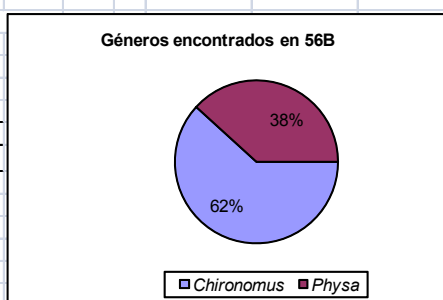
Géneros encontrados en el río Mondomo en el sitio de muestreo 56A el 22 de octubre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Mondomo		56A					
oct-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
Chironomus	4	0,0909	-2,3979	-0,2180	-3,4594	-0,3145	Eutrófico
Leptonema	8	0,1818	-1,7047	-0,3100	-2,4594	-0,4472	Oligomesotrófico
Lachlania	1	0,0227	-3,7842	-0,0860	-5,4594	-0,1241	Oligotrófico
Anchitarsus	3	0,0682	-2,6856	-0,1831	-3,8745	-0,2642	Oligotrófico
Anacroneuria	1	0,0227	-3,7842	-0,0860	-5,4594	-0,1241	Oligotrófico
Physa	11	0,2500	-1,3863	-0,3466	-2,0000	-0,5000	Mesoeutrófico
Pontoscolex	16	0,3636	-1,0116	-0,3679	-1,4594	-0,5307	Eutrófico
N	44						BMWP = 45
S	7						ASPT = 6,4
H'=Diversidad				1,60		2,30	
J =Equitatividad				0,82		0,82	



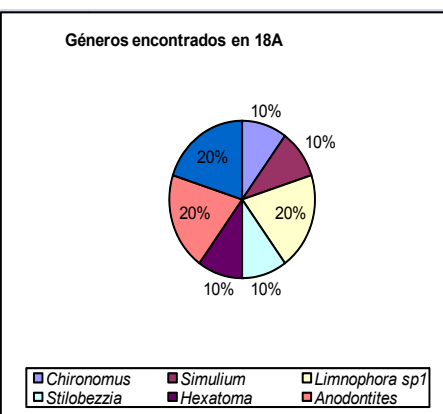
Géneros encontrados en el río Mondomo en el sitio de muestreo 56B el 22 de octubre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Mondomo		56B					
oct-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
Chironomus	63	0,6176	-0,4818	-0,2976	-0,6951	-0,4294	Eutrófico
Physa	39	0,3824	-0,9614	-0,3676	-1,3870	-0,5303	Mesoeutrófico
N	102						BMWP = 5
S	2						ASPT = 2,5
H'=Diversidad				0,67		0,96	
J =Equitatividad				0,96		0,96	



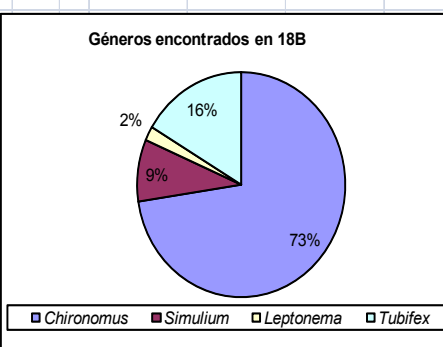
Géneros encontrados en la quebrada Quimbas afluente de La Chapa en el sitio de muestreo 18A el 19 de noviembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Quimbas		18A					
nov-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
Chironomus	1	0,1000	-2,3026	-0,2303	-3,3219	-0,3322	Eutrófico
Simulium	1	0,1000	-2,3026	-0,2303	-3,3219	-0,3322	Oligotrófico
Limnophora sp1	2	0,2000	-1,6094	-0,3219	-2,3219	-0,4644	Mesoeutrófico
Stilobezzia	1	0,1000	-2,3026	-0,2303	-3,3219	-0,3322	Mesoeutrófico
Hexatoma	1	0,1000	-2,3026	-0,2303	-3,3219	-0,3322	Mesoeutrófico
Anodontites	2	0,2000	-1,6094	-0,3219	-2,3219	-0,4644	Oligotrófico
Pontoscolex	2	0,2000	-1,6094	-0,3219	-2,3219	-0,4644	Eutrófico
N	10						BMWP = 34
S	7						ASPT = 4,9
H'=Diversidad				1,89		2,72	
J =Equitatividad				0,97		0,97	



Géneros encontrados en la quebrada Quimbas afluente de La Chapa en el sitio de muestreo 18B el 19 de noviembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Quimbas		18B					
nov-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
Chironomus	212	0,7260	-0,3202	-0,2325	-0,4619	-0,3354	Eutrófico
Simulium	26	0,0890	-2,4187	-0,2154	-3,4894	-0,3107	Oligotrófico
Leptonema	6	0,0205	-3,8850	-0,0798	-5,6049	-0,1152	Oligomesotrófico
Tubifex	48	0,1644	-1,8056	-0,2968	-2,6049	-0,4282	Eutrófico
N	292						BMWP = 20
S	4						ASPT = 5,0
H'=Diversidad				0,82		1,19	
J =Equitatividad				0,59		0,59	

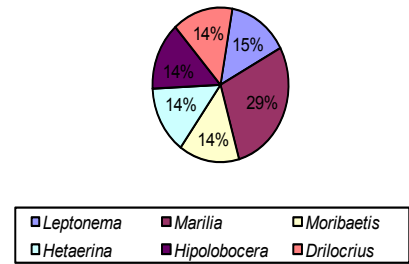


Figuras y Tablas de abundancia de géneros encontrados en el río Mondomo y en la quebrada Quimbas en los sitios de muestreo 56A, 56B, 18A y 18B, y descriptores de la estructura de la taxocenosis.

Géneros encontrados en la quebrada Vergara (subcuenca del río Mondomo) en el sitio de muestreo 57A el 3 de diciembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Vergara		57A					
dic-99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	log <sub>2</sub> ni/N	productos	Bioindicación
Leptonema	1	0,1429	-1,9459	-0,2780	-2,8074	-0,4011	Oligomesotrófico 8
Mariia	2	0,2857	-1,2528	-0,3579	-1,8074	-0,5164	Oligotrófico 10
Moribaetis	1	0,1429	-1,9459	-0,2780	-2,8074	-0,4011	Oligomesotrófico 8
Hetaerina	1	0,1429	-1,9459	-0,2780	-2,8074	-0,4011	Oligomesotrófico 8
Hipolobocera	1	0,1429	-1,9459	-0,2780	-2,8074	-0,4011	Oligomesotrófico 8
Drilocrius	1	0,1429	-1,9459	-0,2780	-2,8074	-0,4011	Eutrófico 2
<b>N</b>	<b>7</b>						<b>BMWP = 44</b>
<b>S</b>	<b>6</b>						<b>ASPT = 7,3</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>1,75</b>		<b>2,52</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>0,98</b>		<b>0,98</b>	

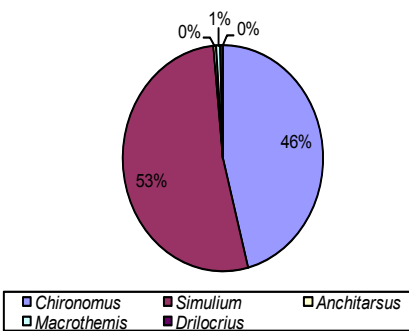
Géneros encontrados en 57A



Géneros encontrados en la quebrada Vergara (subcuenca del río Mondomo) en el sitio de muestreo 57B el 3 de diciembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Vergara		57B					
dic-99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	log <sub>2</sub> ni/N	productos	Bioindicación
Chironomus	210	0,4595	-0,7776	-0,3573	-1,1218	-0,5155	Eutrófico 2
Simulium	240	0,5252	-0,6440	-0,3382	-0,9292	-0,4880	Oligotrófico 9
Anchitarsus	2	0,0044	-5,4315	-0,0238	-7,8361	-0,0343	Oligotrófico 10
Macrothemis	3	0,0066	-5,0261	-0,0330	-7,2511	-0,0476	Mesotrófico 6
Drilocrius	2	0,0044	-5,4315	-0,0238	-7,8361	-0,0343	Eutrófico 2
<b>N</b>	<b>457</b>						<b>BMWP = 29</b>
<b>S</b>	<b>5</b>						<b>ASPT = 5,8</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>0,78</b>		<b>1,12</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>0,48</b>		<b>0,48</b>	

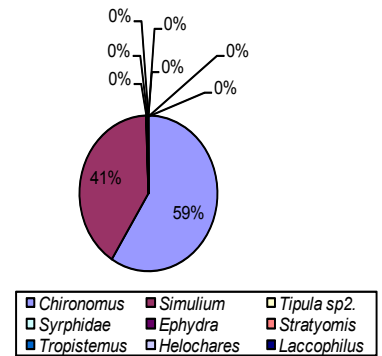
Géneros encontrados en 57B



Géneros encontrados en la quebrada La Chapa (subcuenca del río Quinamayó) en el sitio de muestreo 3A el 10 de septiembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
La Chapa		3:00 AM					
sep-99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	log <sub>2</sub> ni/N	productos	Bioindicación
Chironomus	180	20,0000	2,9957	59,9146	4,3219	86,4386	Eutrófico 2
Simulium	875	97,2222	4,5770	444,9860	6,6032	641,9792	Oligotrófico 9
Tipula sp2.	2	0,2222	-1,5041	-0,3342	-2,1699	-0,4822	Mesoeutrófico 4
Syrphidae	5	0,5556	-0,5878	-0,3265	-0,8480	-0,4711	Eutrófico 2
Ephydra	1	0,1111	-2,1972	-0,2441	-3,1699	-0,3522	Eutrófico 2
Stratyomis	1	0,1111	-2,1972	-0,2441	-3,1699	-0,3522	Mesoeutrófico 5
Tropisternus	1	0,1111	-2,1972	-0,2441	-3,1699	-0,3522	Mesoeutrófico 4
Helochares	1	0,1111	-2,1972	-0,2441	-3,1699	-0,3522	Mesoeutrófico 0
Laccophilus	1	0,1111	-2,1972	-0,2441	-3,1699	-0,3522	Oligomesotrófico 8
<b>N</b>	<b>1067</b>						<b>BMWP = 36</b>
<b>S</b>	<b>9</b>						<b>ASPT = 4,0</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>-503,02</b>		<b>-725,70</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>-228,93</b>		<b>-228,93</b>	

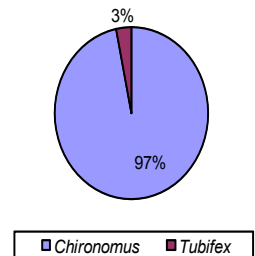
Géneros encontrados en 3A



Géneros encontrados en la quebrada La Chapa (subcuenca del río Quinamayó) en el sitio de muestreo 3B el 10 de septiembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
La Chapa		3A					
sep-99	ni	ni/N	ln ni/N	productos	log <sub>2</sub> ni/N	productos	Bioindicación
Chironomus	1272	141,3333	4,9511	699,7585	7,1430	1009,5381	Eutrófico 2
Tubifex	6	0,6667	-0,4055	-0,2703	-0,5850	-0,3900	Eutrófico 1
<b>N</b>	<b>1278</b>						<b>BMWP = 3</b>
<b>S</b>	<b>2</b>						<b>ASPT = 1,5</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>-699,49</b>		<b>-1009,15</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>-1009,15</b>		<b>-1009,15</b>	

Géneros encontrados en 3B en septiembre

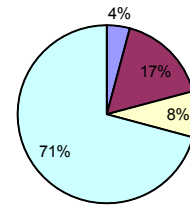


Figuras y Tablas de abundancia de géneros encontrados en la quebrada Vergara y La Chapa en los sitios de muestreo 57A, 57B, 3A y 3B, y descriptores de la estructura de la taxocenosis.

Géneros encontrados en la quebrada Tiembra (subcuenca del río Mondomo) en el sitio de muestreo 38A el 10 de diciembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
Tiembra		38A					
dic-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
<i>Limnophora sp1.</i>	1	1,0000	0,0000	-0,0000	0,0000	0,0000	Mesoeutrófico 3
<i>Leptonema</i>	4	4,0000	1,3863	5,5452	2,0000	8,0000	Oligomesotrófico 8
<i>Pelocoris</i>	2	2,0000	0,6931	1,3863	1,0000	2,0000	Oligomesotrófico 7
<i>Pontoscolex</i>	17	17,0000	2,8332	48,1646	4,0875	69,4869	Eutrófico 2
<b>N</b>	<b>24</b>						<b>BMWP = 20</b>
<b>S</b>	<b>4</b>						<b>ASPT = 5,0</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>-55,10</b>		<b>-79,49</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>-39,74</b>		<b>-39,74</b>	

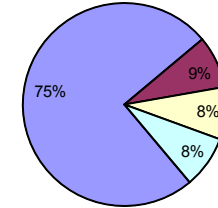
Géneros encontrados en 38A



Géneros encontrados en la quebrada Tiembra (subcuenca del río Mondomo) en el sitio de muestreo 38B el 10 de diciembre de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

CÁLCULO DE LA DIVERSIDAD DE MIB							
Tiembra		38B					
dic-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
<i>Chironomus</i>	9	0,7500	-0,2877	-0,2158	-0,4150	-0,3113	Eutrófico 2
<i>Leptonema</i>	1	0,0833	-2,4849	-0,2071	-3,5850	-0,2987	Oligomesotrófico 8
<i>Anchytarsus</i>	1	0,0833	-2,4849	-0,2071	-3,5850	-0,2987	Oligomesotrófico 10
<i>Pontoscolex</i>	1	0,0833	-2,4849	-0,2071	-3,5850	-0,2987	Eutrófico 2
<b>N</b>	<b>12</b>						<b>BMWP = 22</b>
<b>S</b>	<b>4</b>						<b>ASPT = 5,5</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>0,84</b>		<b>1,21</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>0,60</b>		<b>0,60</b>	

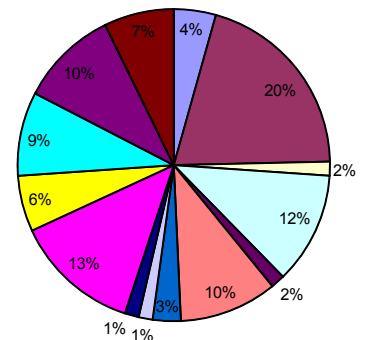
Géneros encontrados en 38B



Géneros encontrados en la quebrada La Cascada (subcuenca del río Quinamayó) en el sitio de muestreo 12A el 8 de julio de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
La Cascada		12A					
jul-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
<i>Chironomus</i>	3	0,0435	-3,1355	-0,1363	-4,5236	-0,1967	Eutrófico 2
<i>Leptonema</i>	14	0,2029	-1,5950	-0,3236	-2,3012	-0,4669	Oligomesotrófico 8
<i>Atopsyche</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligomesotrófico 9
<i>Smicridea</i>	8	0,1159	-2,1547	-0,2498	-3,1085	-0,3604	Oligomesotrófico 0
<i>Thraulodes</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligotrófico 9
<i>Anchytarsus</i>	7	0,1014	-2,2882	-0,2321	-3,3012	-0,3349	Oligotrófico 10
<i>Cyloepus</i>	2	0,0290	-3,5410	-0,1026	-5,1085	-0,1481	Oligomesotrófico 7
<i>Microcyloepus</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligotrófico 0
<i>Elodes</i>	1	0,0145	-4,2341	-0,0614	-6,1085	-0,0885	Oligomesotrófico 9
<i>Hetaerina</i>	9	0,1304	-2,0369	-0,2657	-2,9386	-0,3833	Oligomesotrófico 8
<i>Macrothemis</i>	4	0,0580	-2,8478	-0,1651	-4,1085	-0,2382	Oligotrófico 6
<i>Cryphocricos</i>	6	0,0870	-2,4423	-0,2124	-3,5236	-0,3064	Oligomesotrófico 7
<i>Anacroneuria</i>	7	0,1014	-2,2882	-0,2321	-3,3012	-0,3349	Oligotrófico 10
<i>Dugesia</i>	5	0,0725	-2,6247	-0,1902	-3,7866	-0,2744	Mesotrófico 6
<b>N</b>	<b>69</b>						<b>BMWP = 91</b>
<b>S</b>	<b>14</b>						<b>ASPT = 6,5</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>2,36</b>		<b>3,40</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>0,89</b>		<b>0,89</b>	

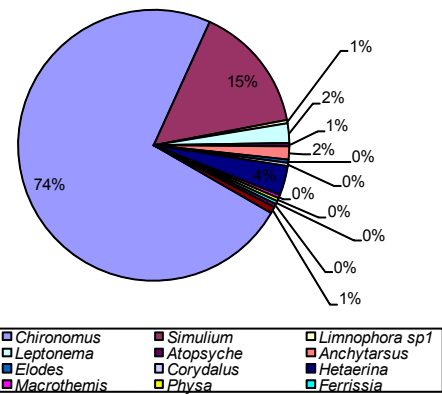
Géneros encontrados en 12A



Géneros encontrados en la quebrada La Cascada (subcuenca del río Quinamayó) en el sitio de muestreo 12B el 8 de julio de 1999 y descriptores de la estructura de la taxocenosis. N=número de individuos por metro cuadrado (Densidad), S = número de géneros diferentes (Riqueza), H= Índice de diversidad de Shannon (en base e y base 2), J=Equitatividad, Bioindicación BMWP y ASPT.

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MIB							
jul-99		12B					
dic-99	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /N	ln n <sub>i</sub> /N	productos	log <sub>2</sub> n <sub>i</sub> /N	productos	Bioindicación
<i>Chironomus</i>	188	0,7344	-0,3087	-0,2267	-0,4454	-0,3271	Eutrófico 2
<i>Simulium</i>	39	0,1523	-1,8816	-0,2867	-2,7146	-0,4136	Oligotrófico 9
<i>Limnophora sp1</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Mesoeutrófico 3
<i>Leptonema</i>	6	0,0234	-3,7534	-0,0880	-5,4150	-0,1269	Oligomesotrófico 8
<i>Atopsyche</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Oligotrófico 9
<i>Anchytarsus</i>	4	0,0156	-4,1589	-0,0650	-6,0000	-0,0938	Oligotrófico 10
<i>Elodes</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Oligotrófico 9
<i>Corydalus</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Mesotrófico 6
<i>Hetaerina</i>	9	0,0352	-3,3480	-0,1177	-4,8301	-0,1698	Oligomesotrófico 8
<i>Macrothemis</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Mesotrófico 6
<i>Physa</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Mesoeutrófico 3
<i>Ferrissia</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Mesotrófico 7
<i>Pontoscolex</i>	1	0,0039	-5,5452	-0,0217	-8,0000	-0,0313	Eutrófico 2
<i>Tubifex</i>	2	0,0078	-4,8520	-0,0379	-7,0000	-0,0547	Eutrófico 1
<b>N</b>	<b>256</b>						<b>BMWP = 83</b>
<b>S</b>	<b>14</b>						<b>ASPT = 5,9</b>
<b>H'=Diversidad</b>				<b>1,00</b>		<b>1,44</b>	
<b>J =Equitatividad</b>				<b>0,38</b>		<b>0,38</b>	

Géneros encontrados en 12B



Figuras y Tablas de abundancia de géneros encontrados en la quebrada Tiembra y La Cascada en los sitios de muestreo 38A, 38B, 12A, 12B, y descriptores de la estructura de la taxocenosis.

### 8.4.3 ESTADILLOS DE MACROINVERTEBRADOS

Tabla 1. Número de individuos por m<sup>2</sup>, clasificación taxonómica y bioindicación en los sitios de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la quebrada La Chapa y 38A, 38B, 51A y 51B de la quebrada Tiembla; muestreo del 27 de julio de 1999.

SITIOS	Quebrada La Chapa					Quebrada Tiembla					BIOINDICACION BMWP
	3A	3B	21A	21B	Total ni	38A	38B	51A	51B	Total ni	
TAXA											
Phylum: Arthropoda.											
Clase: Insecta.											
Orden: Diptera											
Géneros: Familias:											
Chironomus, Chironomidae	60	740	320	560	1680	4	750	860	940	2554	Eutrófico 2
Simulium, Simuliidae	0	0	840	410	1250	1	0	0	0	1	Oligotrófico 9
Tipula sp2, Tipulidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	Mesoeutrófico 4
Ephydra, Ephyridae	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	Eutrófico 2
Tipula sp1, Tipulidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	Mesoeutrófico 4
Orden: Trichoptera.											
Géneros: Familias:											
Leptonema, Hydropsychidae	13	0	0	0	13	8	0	0	0	8	Oligomesotrófico 8
Atopsyche, Hydrobiosidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Oligotrófico 9
Orden: Ephemeroptera.											
Géneros: Familias:											
Baetis sp1, Baetidae	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	Oligomesotrófico 8
Thraulodes, Leptophlebiidae	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	Oligotrófico 9
Leptohyphes, Tricorythidae	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 7
Orden: Coleoptera											
Género: Familia:											
Tropisternus, Hydrophilidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	Mesoeutrófico 4
Orden: Megaloptera										1	
Género: Familia:											
Corydalus sp., Corydalidae	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	Mesotrófico 6
Orden: Odonata											
Géneros: Familias:											
Brechmorhoga, Libellulidae	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	Mesotrófico 6
Hetaerina, Calopterygidae	6	0	0	0	6	11	0	0	0	11	Oligomesotrófico 8
Orden: Hemiptera											
Géneros: Familias:											
Pelocoris, Naucoridae	0	0	0	0	0	15	0	0	0	15	Oligomesotrófico 7
Rhagovelia, Veliidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	Oligomesotrófico 8
Orden: Plecoptera											
Género: Familia:											
Anacronuria, Perlidae	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	Oligotrófico 10
Phylum: Mollusca											
Clase: Gastropoda											
Orden: Basommatophora											
Género: Familia:											
Ferrissia, Ancyliidae	11	0	0	0	11	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 7
Phylum: Annelida.											
Clase: Oligochaeta											
Orden: Haplotaxida											
Géneros: Familias:											
Tubifex, Tubificidae	0	0	4	4	8	0	9	10	18	37	Eutrófico 1
Pontoscolex, Glossoscolecidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Eutrófico 2
Clase: Hirudinea											
Orden: Glossifoniformes											
Género: Familia:											
Oligobdella, Glossiphoniidae	0	0	10	8	18	0	0	0	6	6	Mesoeutrófico 3
Phylum: Platyhelminthes											
Clase: Turbellaria.											
Orden: Tricladida											
Género: Familia:											
Dugesia, Planariidae	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	Mesotrófico 6
Phylum: Nematomorpha.											
Clase: Nematomorpha.											
Orden: Gordioida											
Género: Familia:											
Neochordodes, Chordodidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Oligotrófico 9
DENSIDAD: N (No.individuos/m <sup>2</sup> )	112	740	1175	982		43	761	872	964		
RIQUEZA : S (No.géneros/m <sup>2</sup> )	13	1	5	4		8	4	4	3		
INDICE DE SHANNON: H' (bits/m <sup>2</sup> )	2,43	0	0,95	1,08		2,39	0,12	0,12	0,19		
EQUITATIVIDAD: J	0,66	0	0,41	0,54		0,8	0,06	0,06	0,12		
BMWP	89	2	17	15		56	11	9	6		
ASPT	6,8	2,0	3,4	3,8		7,0	2,8	2,3	2,0		

Tabla 2. Número de individuos por m<sup>2</sup>, clasificación taxonómica y bioindicación en los sitios de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la quebrada La Chapa y 38A, 38B, 51A y 51B de la quebrada Tiembra; muestreo del 10 de septiembre de 1999.

SITIOS	Quebrada La Chapa					Quebrada Tiembra					BIOINDICACION
	3A	3B	21A	21B	Totalni	38A	38B	51A	51B	Total ni	
TAXA											
Phylum: Arthropoda.											
Clase: Insecta.											
Orden: Diptera											
Géneros: Familias:											
Chironomus, Chironomidae	180	1272	216	412	2080	12	1487	2148	1652	5299	Eutrófico 2
Limnophora sp1, Muscidae	0	0	2	0	2	0	1	1	0	2	Mesoeutrófico 3
Simulium, Simuliidae	875	0	1224	1603	3702	6	396	2163	480	3045	Oligotrófico 9
Tipula sp1, Tipulidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	Mesoeutrófico 4
Tipula sp2, Tipulidae	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	Mesoeutrófico 4
Syrphidae, Syrphidae	5	0	1	0	6	0	0	0	0	0	Eutrófico 2
Ephydra, Ephydriidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Eutrófico 2
Stratiomis, Stratiomyidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Mesoeutrófico 5
Orden: Trichoptera.											
Género: Familia:											
Leptonema, Hydropsychidae	0	0	0	0	0	9	0	0	0	9	Oligomesotrófico 8
Orden: Ephemeroptera.											
Género: Familia:											
Baetis sp1, Baetidae	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	Oligomesotrófico 8
Orden: Coleoptera											
Géneros: Familias:											
Tropisternus, Hydrophilidae	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	Mesoeutrófico 4
Helochares Hydrophilidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Mesoeutrófico 4
Laccophilus Dytiscidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 8
Orden: Neuroptera											
Género: Familia:											
Corydalus sp1, Corydalidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	Mesotrófico 6
Orden: Odonata											
Género: Familia:											
Hetaerina, Calopterygidae	0	0	0	0	0	18	0	0	0	18	Oligomesotrófico 8
Orden: Hemiptera											
Géneros: Familias:											
Pelocoris, Naucoridae	0	0	0	0	0	21	0	0	0	21	Oligomesotrófico 7
Rhagovelia, Velidae	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	Oligomesotrófico 8
Phylum: Mollusca											
Clase: Gastropoda											
Orden: Basommatophora											
Géneros: Familias:											
Physa, Physidae	0	0	107	18	125	0	0	0	0	0	Mesoeutrófico 3
Ferrissia, Ancyliidae	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 7
Phylum: Annelida.											
Clase: Oligochaeta.											
Orden: Haplotaxida											
Género: Familia:											
Tubifex, Tubificidae	0	6	18	31	55	0	0	0	0	0	Eutrófico 1
Clase: Hirudinea.											
Orden: Glossifoniformes											
Género: Familia:											
Oligobdella, Glossiphoniidae	0	0	36	16	52	0	1	3	6	10	Mesoeutrófico 3
DENSIDAD: N (No.individuos/m <sup>2</sup> )	1067	1278	1609	2080		75	1887	4315	2138		
RIQUEZA : S (No.género/m <sup>2</sup> )	9	2	8	5		8	6	4	3		
INDICE DE SHANNON: H' (bits/m <sup>2</sup> )	0,77	0,04	1,19	0,96		2,62	0,77	1,01	0,8		
EQUITATIVIDAD: J	0,24	0,04	0,4	0,41		0,87	0,3	0,51	0,5		
BMWP	36	3	30	18		56	25	17	14		
ASPT	4,0	1,5	3,8	3,6		7,0	4,2	4,3	4,7		

Tabla 3. Número de individuos por m<sup>2</sup>, clasificación taxonómica y bioindicación en los sitios de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la quebrada La Chapa y 38A, 38B, 51A y 51B de la quebrada Tiembla; muestreo del 1 de octubre de 1999.

SITIOS	Quebrada La Chapa					Quebrada Tiembla					BIOINDICACION
	3A	3B	21A	21B	Total ni	38A	38B	51A	51B	Total ni	BMWP
TAXA											
Phylum: Arthropoda.											
Clase: Insecta.											
Orden: Diptera											
Géneros: Familias:											
Chironomus, Chironomidae	0	240	116	320	676	6	12	189	280	487	Eutrófico 2
Simulium, Simuliidae	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	Oligotrófico 9
Chrysops, Tabanidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	Mesotrófico 5
Orden: Trichoptera.											
Géneros: Familias:											
Leptonema, Hydropsychidae	3	0	1	0	4	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 8
Smicridea, Hydropsychidae	3	0	0	0	3	5	11	0	0	16	Oligomesotrófico 8
Triplectides, Leptoceridae	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	Oligomesotrófico 8
Orden: Coleoptera											
Género: Familia:											
Cylloepus, Elmidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 7
Orden: Odonata											
Género: Familia:											
Hetaerina, Calopterygidae	1	0	0	0	1	6	4	0	0	10	Oligomesotrófico 8
Orden: Hemiptera											
Género: Familia:											
Pelocoris, Naucoridae	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7	Oligomesotrófico 7
Phylum: Mollusca											
Orden: Basommatophora											
Género: Familia:											
Physa, Physidae	0	0	8	1	9	0	0	4	0	4	Mesoeutrófico 3
Phylum: Annelida.											
Clase: Oligochaeta.											
Orden: Haplotaxida											
Géneros: Familias:											
Tubifex, Tubificidae	0	220	0	0	220	0	4	0	20	24	Eutrófico 1
Drilocrius breymanni, Almididae	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	Eutrófico 2
Clase: Hirudinea.											
Orden: Glossifoniiformes											
Género: Familia:											
Oligobdella, Glossiphoniidae	0	0	80	14	94	2	1	21	4	28	Mesoeutrófico 3
DENSIDAD: N (No.individuos/m <sup>2</sup> )	8	460	212	335		30	33	214	304		
RIQUEZA :S (No.géneros/m <sup>2</sup> )	4	2	6	3		6	6	3	3		
INDICE DE SHANNON: H' (bits/m <sup>2</sup> )	1,81	1	1,4	0,28		2,5	2,1	0,59	0,45		
EQUITATIVIDAD: J	0,91	1	0,54	0,18		0,97	0,81	0,37	0,28		
BMWP	23	3	27	8		36	27	8	6		
ASPT	5,8	1,5	4,5	2,7		6,0	4,5	2,7	2,0		

Tabla 4. Número de individuos por m<sup>2</sup>, clasificación taxonómica y bioindicación en los sitios de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la quebrada La Chapa y 38A, 38B, 51A y 51B de la quebrada Tiembla; muestreo del 12 de noviembre de 1999.

SITIOS	Quebrada La Chapa					Quebrada Tiembla					BIOINDICACION
	3A	3B	21A	21B	Total ni	38A	38B	51A	51B	Total ni	
TAXA											
Phylum: Arthropoda.											
Clase: Insecta.											
Orden: Diptera											
Géneros: Familias:											
Chironomus, Chironomidae	0	86	116	232	434	0	186	264	202	652	Eutrófico 2
Orden: Trichoptera.											
Géneros: Familias:											
Leptonema, Hydropsychidae	6	3	0	0	9	6	0	0	0	6	Oligomesotrófico 8
Marilia, Odontoceridae	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	Oligotrófico 10
Orden: Coleoptera											
Género: Familia:											
Anchylarsus, Ptilodactylidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Oligotrófico 10
Orden: Odonata											
Géneros: Familias:											
Hetaerina, Calopterygidae	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12	Oligomesotrófico 8
Brechmorhoga, Libellulidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Mesotrófico 6
Orden: Hemiptera											
Género: Familia:											
Pelocoris, Naucoridae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	Oligomesotrófico 7
Orden: Ephemeroptera											
Género: Familia:											
Moribaetis, Baetidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 8
Orden: Plecoptera											
Género: Familia:											
Anacroneuria, Perlidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	Oligotrófico 10
Phylum: Mollusca											
Orden: Basommatophora											
Género: Familia:											
Physa, Physidae	0	0	0	4	4	0	2	0	0	2	Mesoeutrófico 3
Phylum: Annelida.											
Clase: Oligochaeta.											
Orden: Haplotaxida											
Géneros: Familias:											
Tubifex, Tubificidae	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	Eutrófico 1
Drilocrius breymanni, Almididae	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	Eutrófico 2
Clase: Hirudinea.											
Orden: Glossifoniiformes											
Género: Familia:											
Oligobdella, Glossiphoniidae	0	0	0	1	1	1	1	0	2	4	Mesoeutrófico 3
DENSIDAD: N (No.individuos/m <sup>2</sup> )	9	89	123	237		27	190	264	204		
RIQUEZA : S (No.género/m <sup>2</sup> )	4	2	3	3		6	4	1	2		
INDICE DE SHANNON: H' (bits/m <sup>2</sup> )	1,45	0,21	0,35	0,16		2,16	0,18	0,00	0,08		
EQUITATIVIDAD: J	0,72	0,21	0,22	0,1		0,84	0,09	0	0,08		
BMWP	32	10	5	8		46	10	2	5		
ASPT	8	5	1,7	2,7		8	2,5	2	2,5		

Tabla 5. Número de individuos por m<sup>2</sup>, clasificación taxonómica y bioindicación en los sitios de muestreo 3A, 3B, 21A y 21B de la quebrada La Chapa y 38A, 38B, 51A y 51B de la quebrada Tiembla; muestreo del 10 de diciembre de 1999.

SITIOS	Quebrada La Chapa					Quebrada Tiembla					BIOINDICACION
	3A	3B	21A	21B	Total ni	38A	38B	51A	51B	Total ni	
TAXA											
Phylum: Arthropoda.											
Clase: Insecta.											
Orden: Diptera											
Géneros: Familias:											
Chironomus, Chironomidae	0	27	126	48	201	0	9	112	186	307	Eutrófico 2
Limnophora, Muscidae	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	Mesoeutrófico 3
Simulium, Simuliidae	1	28	87	368	484	0	0	0	0	0	Oligotrófico 9
Tipula sp1, Tipulidae	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	Mesoeutrófico 4
Orden: Trichoptera.											
Géneros: Familias:											
Leptonema, Hydropsychidae	0	1	4	4	9	4	1	0	0	5	Oligomesotrófico 8
Xiphocentron, Xiphocentronidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Oligotrófico 9
Orden: Ephemeroptera.											
Género: Familia:											
Baetis, Baetidae	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	Oligomesotrófico 8
Orden: Coleoptera											
Género: Familia:											
Anchytarsus, Ptilodactylidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	Oligotrófico 10
Orden: Hemiptera											
Género: Familia:											
Pelocoris, Naucoridae	0	0	1	0	1	2	0	0	0	2	Oligomesotrófico 7
Orden: Lepidoptera											
Género: Familia:											
Piralide, Pyralidae	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	Oligotrófico 9
Phylum: Mollusca											
Orden: Basommatophora											
Género: Familia:											
Physa, Physidae	0	0	2	0	2	0	0	1	2	3	Mesoeutrófico 3
Phylum: Annelida.											
Clase: Oligochaeta.											
Orden: Haplotaxida											
Géneros: Familias:											
Pontosclex, Glossoscolecidae	0	9	8	0	17	17	1	0	0	18	Eutrófico 2
Tubifex, Tubificidae	1	6	0	0	7	0	0	6	48	54	Eutrófico 1
Clase: Hirudinea.											
Orden: Glossifoniiformes											
Género: Familia:											
Oligobdella, Glossiphoniidae	0	0	22	25	47	0	0	14	12	26	Mesoeutrófico 3
DENSIDAD: N (No.individuos/m <sup>2</sup> )	3	71	254	445		24	12	135	248		
RIQUEZA : S (No.géneros/m <sup>2</sup> )	3	5	10	4		4	4	5	4		
INDICE DE SHANNON: H' (bits/m <sup>2</sup> )	1,58	1,83	1,79	0,87		1,27	1,21	0,9	1		
EQUITATIVIDAD: J	1	0,79	0,54	0,43		0,64	0,6	0,39	0,52		
BMWP	19	22	55	22		20	22	12	9		
ASPT	6,3	4,4	5,5	5,5		5,0	5,5	2,4	2,3		

Tabla 6. Distribución de macroinvertebrados colectados en las quebradas: La Chapa (3, 16, 21 y 25), Tiembra (38, 43, 46 y 51), Vergara (57) y río Mondomo (56); Municipio de Santander de Quilichao, corregimiento de Mondomo, Departamento del Cauca.

FECHA SITOS	10-09-99		12-11-99		10-12-99		01-10-99		08-07-99		24-09-99		22-10-99		19-11-99		19-11-99		19-11-99		03-12-99		03-12-99		Total ni	BIONDICACION BMWP			
	3A	3B	21A	21B	38A	38B	51A	51B	12A	12B	43A	43B	56A	56B	16A	16B	18A	18B	25A	25B	46A	46B	57A	57B					
TAXA																													
Phylum: Arthropoda.																													
Clase: Insecta.																													
Orden: Diptera																													
Géneros: Familias:																													
Chironomus, Chironomidae	180	1272	116	232		9	189	280	3	188			4	63	312	860	1	212	82	212	680	750		210	5855	Eutrofico 2			
Simulium, Simuliidae	875									39					260	14	1	26	18	26	12			240	1511	Oligotrófico 9			
Tipula sp2, Tipulidae	2																								2	Mesoeutrofico 4			
Syrphidae, Syrphidae	5																								5	Eutrofico 2			
Ephydra, Ephydriidae	1																								1	Eutrofico 2			
Stratiomyidae, Stratiomyidae	1																								1	Mesoeutrofico 5			
Limnophora, Muscidae					1	0				1								2							4	Mesoeutrofico 3			
Silboezzia, Ceratopogonidae																		1							1	Mesoeutrofico 4			
Hexatoma, Tipulidae																		1							1	Mesoeutrofico 4			
Orden: Trichoptera.																													
Géneros: Familias:																													
Leptonema, Hidropsychidae					4	1				14	6	5		8	4										1	49	Oligomesotrófico 8		
Atopsyche, Hidrobosidae										1	1														2	2	Oligotrófico 9		
Smicridea, Hidropsychidae										8		408														416	Oligomesotrófico 8		
Marilia, Odontoceridae																									2	2	Oligotrófico 10		
Orden: Ephemeroptera.																													
Géneros: Familias:																													
Moribaetis, Baetidae																									1	1	Oligomesotrófico 8		
Thraulodes, Leptophlebiidae										1																1	1	Oligotrófico 9	
Lachlania, Oligoneuridae													1													1	1	Oligotrófico 10	
Orden: Coleoptera																													
Géneros: Familias:																													
Tropisternus, Hidrophilidae	1																									1	1	Mesoeutrofico 4	
Helocharis, Hidrophilidae	1																									1	1	Mesoeutrofico 4	
Laccophilus, Dytiscidae	1																									1	1	Oligomesotrófico 8	
Anchitarsus, Phiodactylidae					0	1				7	4			3	6										2	23	Oligotrófico 10		
Cyloepus, Elmidae										2																2	2	Oligomesotrófico 7	
Microcyloepus, Elmidae										1																1	1	Oligomesotrófico 7	
Elodes, Scirtidae										1	1															2	2	Oligotrófico 9	
Orden: Megaloptera																													
Género: Familia:																													
Corydalus, Corydalidae																										1	1	Mesotrófico 6	
Orden: Odonata																													
Géneros: Familias:																													
Hetaerina, Calopterygidae									9	9	13				2										1	34	Oligomesotrófico 8		
Macrothemis, Libellulidae									4	1															3	8	Mesotrófico 6		
Orden: Hemiptera																													
Género: Familia:																													
Pelocoris, Naucoridae					2	0																				2	2	Oligomesotrófico 7	
Cryphocricos, Naucoridae										6																	6	6	Oligomesotrófico 7
Orden: Plecoptera																													
Género: Familia:																													
Anacronetia, Perlidae										7				1													8	8	Oligotrófico 10
Clase: Crustacea																													
Orden: Decapoda																													
Género: Familia:																													
Hypobocera beieri, Pseudothelphusidae																										1	1	Oligomesotrófico 8	
Phylum: Mollusca																													
Clase: Gastropoda																													
Orden: Basommatophora																													
Géneros: Familias:																													
Physa, Physidae			0	4			4	0		1	132		11	39												191	Mesoeutrofico 3		
Ferussia, Ancyliidae										1	5															6	6	Mesotrófico 7	
Clase: Bivalvia																													
Orden: Unionoidea																													
Género: Familia:																													
Anodontites, Unionidae											3	173						2									178	Oligotrófico 10	
Phylum: Annelida																													
Clase: Oligochaeta																													
Orden: Haplotaenidia																													
Géneros: Familias:																													
Pontoscrox, Glossoscolecidae					17	1				1	1			16	1			2								39	Eutrofico 2		
Tubifex, Tubificidae	0	6	6	0			0	20		2		356			22	750		48	6	48	1					1265	Eutrofico 1		
Dilocritus breymanni, Almididae			1	0								1													1	2	5	Eutrofico 2	
Clase: Hirudinea																													
Orden: Glossosporifomes																													
Género: Familia:																													
Oligobdella, Glossosporifomes			0	1			21	4							4					8	2	26	39			105	Mesoeutrofico 3		
Phylum: Platyhelminthes																													
Clase: Turbellaria																													
Orden: Tricladida																													
Géneros: Familias:																													
Dugesia, Planariidae										5																	5	5	Mesotrófico 6
DENSIDAD: N (No. individuos/m <sup>2</sup> )	1067	1278	123	237	24	12	214	304	69	256	568	529	44	102	611	1624	10	292	114	288	719	789	7	457	9738	9738			
RIQUEZA: S (No. géneros/m <sup>2</sup> )	9	2	3	3	4	4	3	3	14	14	8	2	7	2	8	3	7	4	4	4	4	2	6	5					
INDICE DE SHANNON: H' (bits/m <sup>2</sup> )	0,77	0,04	0,35	0,16	1,27	1,21	0,59	0,45	3,40	1,44	1,15	0,91	2,30	0,96	1,39	1,06	2,72	1,19	1,25	1,12	0,36	0,28	2,52	1,12					
EQUITATIVIDAD: J	0,24	0,04	0,22	0,10	0,64	0,60	0,37	0,28	0,89	0,38	0,38	0,91	0,82	0,96	0,46	0,67	0,97	0,59	0,63	0,56	0,18	0,28	0,98	0,48					
BMWP	36	3	5	8	20	22	8	6	91	83	40	11	45	5	43	12	34	20	15	15	15	5	44	29					
ASPT	4	1,5	1,7	2,7	5	5,5	2,7	2	6,5	5,9	5	5,5	6,4	2,5	5,4	4	4,9	5	3,8	3,8	3,8	2,5	7,3	5,8					

## 8.5 ANEXO 5: MATERIA SECA Y CIANURO TOTAL (CNT) EN LAS RAÍCES DE YUCA ANALIZADAS

Tabla de Materia Seca (%) y contenido de CNT (mg/kg peso seco) en las raíces de yuca de las 12 rallanderías.

Fecha	Quebrada o Río	Subcuenca	Rall	NT	Materia seca (%)	CN total (mg/kg ps)
10-09-99	La Chapa	QUIN	3	1	42,51	315
10-09-99	La Chapa	QUIN	3	1	40,21	367
10-09-99	La Chapa	QUIN	3	1	44,2	355
10-09-99	La Chapa	QUIN	3	1	41,93	449
10-09-99	La Chapa	QUIN	3	1	42,72	364
10-09-99	La Chapa	QUIN	3	1	40,38	549
10-09-99	La Chapa	QUIN	3	1	42,3	653
19-11-99	La Chapa	QUIN	16	1	40,93	340
19-11-99	La Chapa	QUIN	16	1	37,99	631
19-11-99	La Chapa	QUIN	16	1	38,3	277
19-11-99	La Chapa	QUIN	25	1	41,21	401
19-11-99	La Chapa	QUIN	25	1	41,2	325
19-11-99	La Chapa	QUIN	25	1	43,11	313
24-09-99	Tiembra	MOND	43	1	35,55	490
24-09-99	Tiembra	MOND	43	1	43,31	307
24-09-99	Tiembra	MOND	43	1	39,58	386
24-09-99	Tiembra	MOND	43	1	40,41	374
24-09-99	Tiembra	MOND	43	1	40,31	447
24-09-99	Tiembra	MOND	43	1	43,36	262
01-10-99	Tiembra	MOND	51	1	30,48	414
01-10-99	Tiembra	MOND	51	1	45,47	167
01-10-99	Tiembra	MOND	51	1	42,88	158
01-10-99	Tiembra	MOND	51	1	43,06	145
01-10-99	Tiembra	MOND	51	1	43,11	128
01-10-99	Tiembra	MOND	51	1	42,61	115
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	45,55	197
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	44,44	206
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	46,53	178
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	43,93	237
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	48,57	308
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	40,02	221
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	46,69	209
22-10-99	Mondomo	MOND	56	1	47,64	320
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	46,24	141
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	46,91	148
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	46	81
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	44,64	161
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	46,32	164
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	45,27	166
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	45,88	112
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	45,72	188
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	47,49	128
08-07-99	La Cascada	QUIN	12	2	46,24	89
19-11-99	Quimbas	QUIN	18	2	42,38	253
19-11-99	Quimbas	QUIN	18	2	44,15	367
19-11-99	Quimbas	QUIN	18	2	41,91	426
12-11-99	La Chapa	QUIN	21	2	45,76	282
12-11-99	La Chapa	QUIN	21	2	44,84	253
12-11-99	La Chapa	QUIN	21	2	43,62	176
03-12-99	Tiembra	MOND	38	2	42,65	551
03-12-99	Tiembra	MOND	38	2	41,54	438
03-12-99	Tiembra	MOND	38	2	41,63	446
03-12-99	Tiembra	MOND	46	2	41,48	215
03-12-99	Tiembra	MOND	46	2	39,54	228
03-12-99	Tiembra	MOND	46	2	33,06	199
10-12-99	Vergara	MOND	57	2	33,7	534
10-12-99	Vergara	MOND	57	2	42,33	494
10-12-99	Vergara	MOND	57	2	38,79	566
				Media	42,56	300,24
				Max- Mln	48,57-30,48	653-81
				Desv. Estandar	3,61	145,76

## 8.6 ANEXO 6: TABLAS CON DATOS DIVERSOS DE OTROS ESTUDIOS

Tabla de parámetros fisicoquímicos de las subcuencas del río Quinamayó y Ovejas-Mondomo (CRC, 2004).																	
Puntos de muestreo	Fecha	T- agua	O.D.	Sat OD	pH	Conduc.	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	SDT	ST	SST	DBO <sub>5</sub>	DQO	CC	Caudal	
		°C	mg/l	%	Unidades	mmhos-cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kg/día	kg/día	kg/día	kg/día	m <sup>3</sup> /s	
Río Quinamayó- vereda Quinamayó	1/06/98	19,8	7	80	7,8	65	10	11	48	32,5	80,5	2082,4	433,8	477,2	2530,7	1,339	
	5/10/98	22,8	5,1	65	7,3	10	15	34	104	4,5	108,5	4589,4	661,9	166,7	5086,3	1,362	
	Parte Media	14/12/98	22,5	7,3	86	7,3	68	7,25	15,3	318	33,7	351,7	18617,9	424,5	99,2	18933,9	1,807
	9/02/99	21,1	7	80	7	68,6	5	15	202	34,3	236,3	17474,6	432,5	144,2	17811,0	2,67	
	MEDIA	21,6	6,6	77,8	7,4	52,9	9,3	18,8	168,0	26,3	194,3	10691,1	488,2	221,8	11090,5	1,795	
Río Mandiva- vereda Mandiva	16/04/98	22,2	5,9	68	7	97	110	150	160	43,2	203,2	7356,1	5057,3	766,3	10983,1	1,419	
	30/09/98	22,6	4,5	53	7	130	93,5	120	80	64,5	144,5	1477,4	1726,8	246,2	2710,7	0,570	
	Parte Media	16/12/98	21,6	6,6	75	7	89	47	67	137	44,3	181,3	6547,2	2246,1	355,8	8163,2	1,475
	15/02/99	21	5,5	65	7	93,5	5	30	113	46,8	159,8	5805,2	256,9	171,2	6033,5	1,586	
	MEDIA	21,9	5,6	65,3	7,0	102,4	63,9	91,8	122,5	49,7	172,2	5296,5	2321,8	384,9	6972,6	1,262	
Río Ovejas- Puente	26/10/98	19,5	5,4	62	6,9	50	5	39	92	24,5	116,5	3795,5	206,3	178,8	3992,6	1,273	
	22/12/98	18,1	8,4	90	7,1	41	13,56	24	117,2	20,4	137,6	5530,0	639,8	125,8	5998,5	1,456	
	Parte Media	17/02/99	18,3	6,6	72	7,1	37,8	8,12	35	36,3	18,9	55,2	1722,7	385,3	184,6	2041,1	1,465
	23/03/99	18	8,3	90	7,05	35	12,5	20	75,4	17,5	92,9	3589,0	595,0	105,8	4020,9	1,469	
	MEDIA	18,5	7,2	78,5	7,0	41,0	9,8	29,5	80,2	20,3	100,6	3659,3	456,6	148,7	4013,2	1,416	
Río Quinamayó- desembocadura	17/06/98	23	7	80	7	120	10	10	130	59,5	189,5	23321,8	1794,0	199,3	24584,3	5,537	
	5/10/98	26,2	3	40	6,7	120	25	35	132	59,5	191,5	4567,6	865,1	134,6	5189,2	1,068	
	14/12/98	25	4,5	56	6	65	26	32,5	305	32	337	64790,3	5523,1	767,1	68728,1	6,556	
	9/02/99	24,1	3,5	45	6,8	80	26	47	115	40	155	21016,5	4751,6	954,4	24502,3	5,641	
	MEDIA	24,6	4,5	55,3	6,6	96,3	21,8	31,1	170,5	47,8	218,3	28424,1	3233,4	513,8	30751,0	4,700	
Quebrada Chapa- desembocadura	30/09/98	21,4	2,9	34	7	111	20,5	65	160	55	215	1415,2	181,3	63,9	1557,4	0,273	
	16/12/98	20,5	6,2	70	7,05	70	24,2	60	316	34,2	350,2	11331,9	867,8	239,1	11990,1	1,107	
	15/02/99	20,7	4	45	6,8	87,5	25,03	66	213	43,9	256,9	9165,5	1077,1	315,6	9988,7	1,328	
	24/03/99	21	4,2	48	6,8	90,5	26,4	64	256	45,2	301,2	13001,5	1340,8	361,2	14015,7	1,568	
	MEDIA	20,9	4,3	49,3	6,9	89,8	24,0	63,8	236,3	44,6	280,8	8728,5	866,7	244,9	9388,0	1,069	
Río Ovejas y desembocadura	27/10/98	21,5	8,1	92	7,4	75	30,4	50	264	32,2	296,2	277992,0	32011,2	5850,0	301282,8	32,500	
	23/12/98	20	7,9	90	6,9	48	11,7	40	125,3	23,6	148,9	133106,0	12428,9	4721,3	142965,7	32,787	
	22/02/99	19,5	9	98	7,2	35	73,9	129	171,1	17,5	188,6	185961,4	80318,8	15578,3	244700,0	33,545	
	24/03/99	23	8	92	7,3	40	23	56	146,7	20	166,7	165996,6	26025,4	7040,7	185693,7	34,924	
	MEDIA	21,0	8,3	93,0	7,2	49,5	34,8	68,8	176,8	23,3	200,1	190764,0	37696,1	8297,6	218660,6	33,439	
Media		21,4	6,1	69,8	7,0	72,0	27,3	50,6	159,0	35,4	193,0	41260,6	7510,5	1635,3	46812,6	7,300	
Max		26,2	9	98	7,8	130,0	110,0	150,0	318,0	64,5	350,2	277992,0	80318,8	15578,3	301282,8	34,900	
Min		18	2,9	34	6,0	10,0	5,0	10,0	36,3	4,5	55,2	1415,2	181,3	63,9	1557,4	0,300	
Desv-Estand		2,1	1,8	18,7	0,3	31,2	27,6	36,7	81,8	15,8	82,2	73049,6	17508,1	3246,2	83506,2	12,100	

Parámetros fisicoquímicos en quebrada San Antonio en el sitio A (antes de que el vertido caiga en la quebrada), en la zona de la rallería La Palmirana de NT 1 y en la zona de la rallería La Zamaria de NT 2 (Ramírez y Velasco, 2001).																					
MES	HORA	TEMP	TEMP	PH	COND.	OD	TURB	COLOR	DQO	CN	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	SDT	SST	ST	DQO	CN	SST	CAUDAL	
SITIO		AMB (°C)	AGUA (°C)		(µS/cm)	(mg/l)			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)	(l/s)	
ENERO		24	20,5	6,99	95,7	6,7	160	25,8	16	0,026	0,310	0,900	0,020	52,2	64,8	117					
A							154	25,4	16	0,032	0,290	1,300	0,015	98,8	72,2	171	61402	111,3	262875,6	1066	
FEBRERO		23	21,6	7,12	101,1	0	64	12,2	69	0,005	0,164	1,300	0,118	54,8	23,2	78					
A							64	12	57	0,006	0,200	1,800	0,111	50,4	19,6	70	80287	7,0	27272,2	354	
MARZO	12:10	21,4	21	7,27	149,1	8	12	13,1	39	0,008	0,145	0,000	0,000	102,1	12,9	115					
A							15	3,4	38	0,008	0,144	0,000	0,000	118,9	11,1	130	29799	6,2	9288,0	215	
JUNIO	12:45	25,5	21,6	6,79	171,1	5,3	11	2,2	44	0,022	0,270	0,800	0,253	527,5	3,5	531					
A							11	2,2	44	0,022	0,270	0,800	0,253	525,7	5,26	531	34848	17,4	3469,0	220	
JULIO		25,5	22,3	7,71	178,8	6,3	11	2,2	58	-	0,380	1,300	0,400	116,1	8,92	125					
A							10	2	101	-	0,320	0,900	0,100	80,4	3,57	84	30337		2383,1	106	
AGOSTO	14:00	28	23	6,8	171,1	5,4	13	3	33	-	0,000	1,000	0,200	148,4	3,57	152					
A							10	3,2	33	-	0,025	1,000	0,200	133,4	3,57	137	3421,4		370,1	28,8	
ENERO	8:50	18	19,7	6,72	70,5	7,07	153	22,9	12	0,027	0,500	1,400	0,030	81,0	50	131					
A							143	24,7	13	0,027	0,310	1,400	0,021	56,0	50	106	246645	532,8	986580,0	609	
FEBRERO	10:20	23,9	20	6,79	98,5	9	71	14,7	110	0,014	0,270	1,300	0,070	75,7	14,3	90					
A							71	14,6	93	0,012	0,258	0,900	0,084	75,9	16,1	92	348920	44,7	52252,1	106,1	
MARZO	9:30	20	19,6	7,2	139,3	9	14	3	49	0,000	0,309	1,100	0,033	80,9	11,1	92					
A							13	3	36	0,001	0,294	0,700	0,046	56,0	12	68	141143	1,7	38357,6	102,5	
JUNIO	9:00	25,5	20,5	6,63	161,7	5	15	3,1	34	0,021	0,380	1,300	0,036	125,2	8,8	134					
A							16	3,4	35	0,019	0,320	0,900	0,043	105,2	8,8	114	155151	89,9	39574,7	138,8	
JULIO	9:10	21,9	19,2	6,94	164,2	6,3	16	3,5	82	-	0,270	0,800	0,000	160,1	8,9	169					
A							15	3,2	60	-	0,280	0,900	0,000	141,4	3,6	145	63951		5629,5	27,8	
AGOSTO	10:30	30,4	22,8	6,9	167,7	6,5	15	3,8	15	-	0,000	1,250	0,600	203,4	3,6	207					
A							14	3,5	29	-	0,000	1,000	3,000	191,7	5,3	197	16181		3272,9	22,7	
Media		23,9	21,0	7,0	139,1	6,2	45,5	8,8	46,5	0,016	0,238	1,002	0,235	140,1	17,7	157,8	23,9	23,9	23,9	249,7	
Máximo		30,4	23	7,71	178,8	9	160	25,8	110	0,013	0,220	1,053	0,618	528	72,2	531	30,4	30,4	30,4	1066	
Mínimo		18	19,2	6,63	70,5	0	10	2	12	0,000	0,000	0,000	0,000	50,4	3,5	68	18	18	18	22,7	
Desv. Est.		3,4	1,3	0,3	37,4	2,4	53,0	8,4	27,8	0,010	0,130	0,403	0,607	126,4	20,1	120,8	3,4	3,4	3,4	306,5	

Parámetros fisicoquímicos de la quebrada San Antonio en los sitios B (después de caer el vertido) de la zona de la rallería La Palmirana de NT1 y rallería La Zamaria de NT 2 (Ramírez y Velasco, 2001).																					
MES	HORA	TEMP	TEMP	PH	COND.	OD	TURB	COLOR	DQO	CN	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	SDT	SST	ST	DQO	CN	SST	CAUDAL	
SITIO		AMB (°C)	AGUA (°C)		(µS/cm)	(mg/l)			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)	(l/s)	
ENERO	10:50	24	20,5	6,99	95,7	6,7	160	25,8	16	0,026	0,31	0,9	0,02	106,2	64,8	171	552,6	0,90	2238,1		
B							154	25,4	16	0,032	0,29	1,3	0,015	75,8	72,2	148	552,6	1,11	2493,7	1066	
FEBRERO	1:25	24,7	21,2	7,35	107	9	66	12,3	64	0,008	0,198	1,4	0,07	48,0	16,0	64	734,1	0,09	183,5		
B							60	12,2	61	0,008	0,2	1	0,09	53,2	17,8	71	699,6	0,09	204,2	354	
MARZO	12:00	22	20	6,68	155	9	14	3,1	76	0,083	0,216	0	0,031	119,4	16,6	136	529,4	0,58	115,6		
B							14	3,2	63	0,088	0,2	0	0,034	113,2	14,8	128	438,9	0,61	103,1	215	
JUNIO	11:30	25,5	21,6	6,79	171	5,3	11	2,2	44	0,022	0,27	0,8	0,253	527,5	3,5	531	313,6	0,16	24,9		
B							10	2,2	38	0,015	0,18	0,9	0,28	125,7	5,3	131	270,9	0,11	37,5	220	
JULIO	1:00	25,5	22,8	7,35	170,8	6,3	12	2,2	68		0,22	0,6	0,2	127,1	8,9	136	233,5		30,6		
B							11	2,5	68		0,15	0,4	0,2	132,4	3,6	136	233,5		12,3	106	
AGOSTO	1:30	25	25	6,66	206	3,4	12	2	38		0,3	1,25	0	149,7	5,4	155	35,5		5,0		
B							13	2,3	40		0,5	1	0,2	136,2	1,8	138	37,3		1,7	28,8	
ENERO	9:30	21	19,9	6,75	71,2	6,91	118	16,6	5	0,02	0,42	0	0,028	87,4	29,6	117	98,7	0,39	584,1		
B							93	19,8	5	0,019	0,27	0,2	0,036	132,0	21,0	153	98,7	0,37	414,4	609	
FEBRERO	11:05	24,1	20,2	7,8	67	10	52	11,5	90	0,007	0,227	0,9	0,104	66,1	8,9	75	309,4	0,02	30,6		
B							55	11,8	71	0,009	0,212	1,1	0,09	56,0	16,0	72	244,1	0,03	55,0	106,1	
MARZO	11:05	25,5	20,2	6,76	123	9	51	7,5	25	0,009	0,274	0,7	0,079	21,5	55,5	77	83,0	0,03	184,3		
B							50	8,4	10	0,008	0,248	0,6	0,07	47,4	29,6	77	33,2	0,03	98,3	102,5	
JUNIO	9:40	25,5	20,7	6,78	149,5	5,5	15	3,3	19	0,019	0,22	0,6	0,026	116,3	1,7	118	85,4	0,09	7,6		
B							15	3,4	29	0,019	0,15	0,4	0,024	104,5	3,5	108	130,4	0,09	15,7	138,8	
JULIO	10:00	22,1	20,1	6,65	161,2	6,3	17	3,6	84		0,27	0,8	0,4	154,2	1,8	156	75,7		1,6		
B							16	3,3	78		0,28	0,9	0,4	122,7	5,4	128	70,3		4,8	27,8	
AGOSTO	12:00	31,2	22,8	6,69	165,1	4,9	10	3,7	26		0	1	0,2	211,4	3,6	215	19,1		2,6		
B							11	3,6	19		0	1,25	0,2	183,7	5,4	189	14,0		3,9	22,7	
Media		24,7	21,3	6,9	136,9	6,9	43,3	8,0	43,9	0,025	0,2	0,8	0,1	125,7	17,2	142,9	245,6	0,29	285,5	249,7	
Máximo		31,2	25	7,8	206	10	160	25,8	90	0,088	0,5	1,4	0,4	527,5	72,2	531	734,1	1,11	2493,7	1066	
Mínimo		21	19,9	6,65	67	3,4	10	2	5	0,007	0	0	0	21,5	1,7	64	14,0	0,02	1,6	22,7	
Desv. Est.		2,6	1,6	0,4	43,6	2,0	45,7	7,4	27,1	0,0	0,1	0,4	0,1	96,8	20,1	91,4	225,2	0,3	657,2	306,5	

## 8.7 ANEXO 7: NORMA COLOMBIANA DE USOS DEL AGUA

DEC. 1594/84. NORMAS DE CALIDAD PARA LA DESTINACION DEL RECURSO EN USOS DEL AGUA							
PARÁMETRO	Unidad de medida	USOS DEL AGUA/ VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES					
		AGUA CRUDA PARA CONSUMO HUMANO	PARA USO AGRICOLA	PARA USO PECUARIO	PARA CONTACTO PRIMARIO	PARA CONTACTO SECUNDARIO	PRESERVACION DE FLORA Y FAUNA
Ph	Unidades	5.0 a 9.0	6.0 a 9.0		6.0 - 9.0	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0
DBO	mg/l DBO <sub>5</sub>	30					
Amoníaco	mg/l NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	1.0					1.0
Arsénico	mg/l As	0.05	0.1	0.2			
Aluminio	mg/l Al		5.0	5.0			
Alcalinidad	mg/l CaCO <sub>3</sub>						15 - 175
Bario	mg/l Ba	1.0					
Berilio	mg/l Be		0.1	0.1			
Boro	mg/l B			5.0			
Cadmio	mg/l Cd	0.01	0.01	0.05			
Cianuro	mg/l CN <sup>-</sup>	0.2					
Zinc	mg/l Zn	5.0		25.0			
Cobalto	mg/l Co		0.05	1.0			
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	250					
Cobre	mg/l Cu	0.05	0.2	0.5			
Cromo	mg/l Cr <sup>+6</sup>	0.05	0.1	1.0			
Fluor	mg/l F		1.0	1.0			
Grasas y Aceites	mg/l		No Detectable				
Hierro	mg/l Fe	0.2	5.0				
Litio	mg/l Li		2.5				
Manganeso	mg/l Mn	0.05	0.2				
Mercurio	mg/l Hg	0.001		0.01			
Molibdeno	mg/l Mo		0.01	0.5			
Niquel	mg/l Ni		0.2	1.0			
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10		100			
Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.0		10			
Fósforo	mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.3					
Fluoruros	mg/l F	1.0					
Oxígeno disuelto	mg/l OD/%S			70%		70%	> o igual a 4.0
Plata	mg/l Ag	0.05					
Plomo	mg/l Pb	0.05	5.0	0.1			
Selenio	mg/l Se	0.01	0.02	0.05			
Sólidos totales	mg/l		300				
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub>	250					
Tensoactivos	mg/l SAAM	0.5			0.5	0.5	
Temperatura	°C						Según piso té
Turbiedad	mg/l						30
Vanadio	mg/l V	0.1		0.1			
Compuestos fenólicos	mg/l Fenol	0.002			0.05		
Bifenilos policlorados	mg/l AA	No Detectable					
Hidrocarburos A. P.	mg/l AA	No Detectable					
Coliformes totales	UFC/NMP/100 ml	100.000/100 ml	5.000/100ml	900/100 ml	1.000/100 ml	5.000/100 ml	
Coliformes fecales	UFC/NMP/100	20.000/100 ml	1.000/100	220/100 ml	200/100 ml		
Estreptococos fecales	NMP				100/100 ml		
Sustancias extremadamente tóxicas	mg/l de cada sustancia	No Detectable	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable	

## 8.8 ANEXO 8: VARIOS= TABLAS, DIAGRAMAS Y FOTOS

Cuadro de Caracterización de la yuca: nombres, producción mundial, países importadores y exportadores, consumo mundial, productos alimenticios autóctonos, composición química, minerales, proteína bruta, vitaminas, contenido de materia seca y proteína total.

Nombres	<i>Manihot esculenta Crantz</i> , yuca, mandioca, cassava, guacamote, mhogo, aipi y macacheira
Producción mundial en Mt y Mha (FAO, 2004)	Mundial (202,6-18,5); Africa (108,1-12,3); Región Pacífica Asiática (58,9-3,5); América Latina y el Caribe (35,4-2,7); Nigeria (38,2-4,1)
Principales países exportadores	Brasil (3,5%); Indonesia (3,3%); Vietnam (2,6%); Tailandia (87,5%) y Otros (42 países=3,1%)
Consumo mundial <i>per capita</i> , cal/día.	Zaire (1151); Paraguay (364); Brasil (163). Consumo mundial <i>per capita</i> en 2001 fue de 29 kg/año
Principales países importadores.	China (34,9%); Países Bajos (24,2%); España (16,4%); Bélgica (11,8%); Corea del Sur 8,5%);
Intern. Fund for Agric. Develop.(IFAD)	Portugal 4,1%)
Productos alimenticios autóctonos o típicos.	farinha, raspa, tapioca, gari, casabe, enyucado, bollo de yuca, carimañolas, almidón agrio de yuca, pandeyuca, pandebono, diabolines
Composición química de la raíz de yuca.	Materia seca 86-87,7%; Proteína cruda 2-4,1%; Materia grasa 0,5-1 %; Celulosa bruta 2,5-3,9%; Minerales 2-5,6 %.
Minerales en base húmeda y seca (bh-bs).	Potasio 0,25-0,72%; Magnesio 0,03-0,08%; Hierro 17-48 ppm; Cobre 2-6 ppm ; Zinc 14-41 ppm; Manganeso 3-10 ppm; Sodio 73-213 ppm.
Proteína bruta (mg/g).	Histidina 21; Isoleucina 28; Leucina 40; Lisina 41; Metionina+Cisteina 27; Fenilalanina-Tirosina 41; Treonina 26; Triptofano 12; Valina 33.
Vitaminas en base húmeda y seca (bh-bs) en mg/100g de yuca	Vitamina A (UI) 19,5-55; Tiamina (B-12) 0,05-0,16; Riboflavina (B-2) 0,3-0,8; Niacina 0,06-0,17; Ácido ascórbico 30-86.

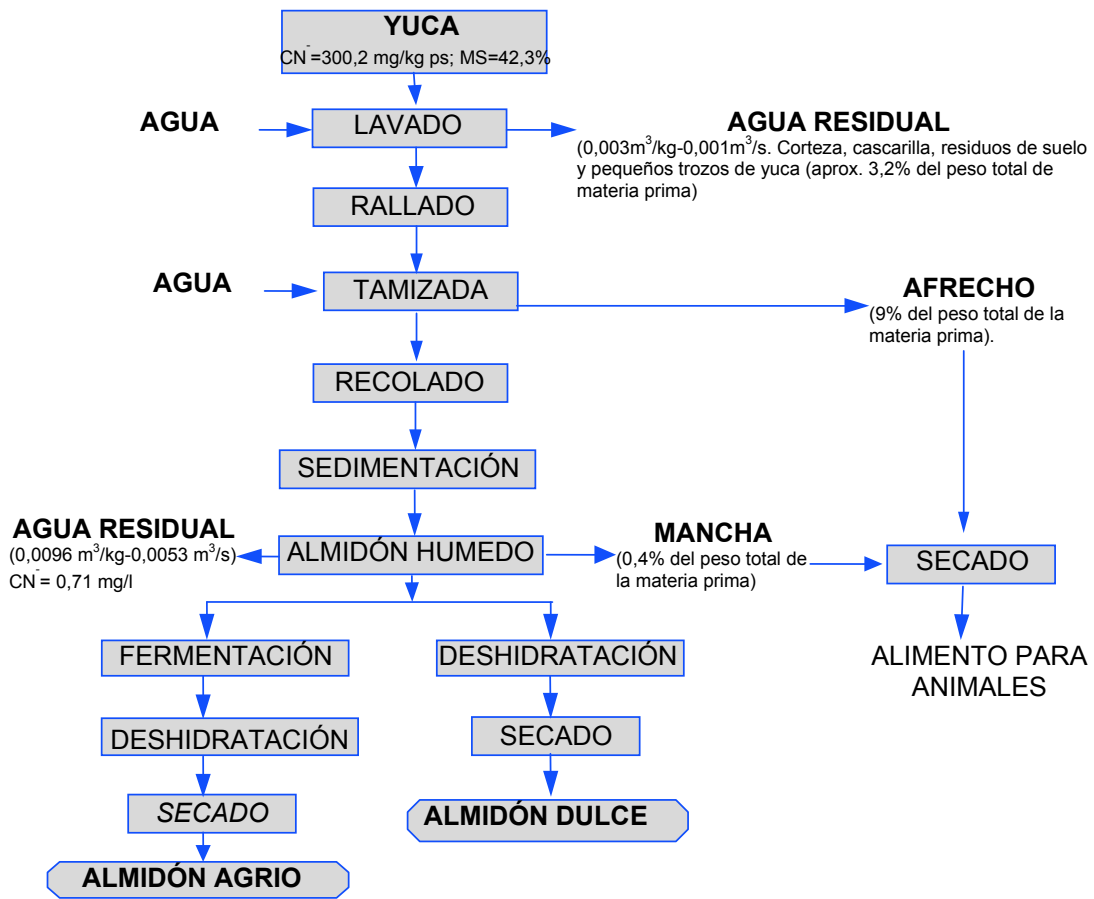
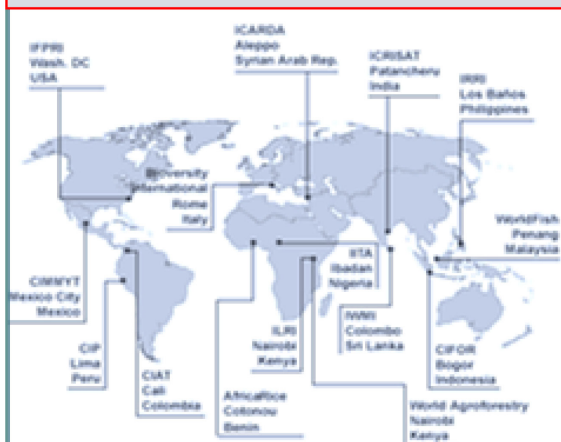


Diagrama de Flujo del proceso de las raíces de yuca para la producción de almidón (Sarria, 2011, en base al de Chuzel, 1994).

## ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Grupo Consultivo de Investigación Agrícola Internacional (CGIAR)



El CIAT investiga productos básicos como: trigo, yuca, gramíneas y leguminosas tropicales, arroz y frutas tropicales. El CIAT hace presencia igualmente en África (Uganda), Asia (Laos) y América Central (Nicaragua).

Áreas de Investigación:

Agrobiodiversidad de la Investigación

Cambio Climático y el Área de Fortalecimiento de Capacidad de Investigación

Fertilidad de Suelos Tropicales Espacio Europeo de Investigación

1950-1970

CECORA = Central de Cooperativas de la Reforma Agraria-1963

CETEC = Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesoría Técnica-1967

CIAT = Centro Internacional de Agricultura Tropical-1970

CINARA = Instituto de Investigación y Desarrollo en

Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y

Conservación del Recurso Hídrico (Univalle)-1990

CIRAD-SAR = Centro de Cooperación Internacional para la

Investigación Agronómica para el Desarrollo-1969

CORPOTUNIA = Corporación para el Desarrollo de Tunia-1966

CRC = Corporación Autónoma Regional del Cauca-1993

CVC = Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-

1970

Escuela de Ingeniería de Alimentos (Univalle)-1990

FAO = Food and Agriculture Organization

IFAD = International Fund for Agricultural Development-1998

MAE = Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia-1989

ORSTOM = Institut Français de Recherche Scientifique pour le

Développement en Coopération-1995

SEDECOM = Servicios de Desarrollo y Consultoría para el Sector

Cooperativo y Microempresas-1967

Universidad del Cauca-1981

Universidad Nacional-1980

Universidad del Valle-1960

## PRODUCCIÓN MUNDIAL DE YUCA (FAOSTAT; en t)

AÑO	2003		2004	
	(t)	(%)	(t)	(%)
<b>NIGERIA</b>	33 379 000	18	33 379 000	17
<b>BRASIL</b>	22 146 800	12	24 230 332	12
<b>TAILANDIA</b>	18 430 000	10	20 400 000	10
<b>PARAGUAY</b>	18 473 960	10	19 196 950	10
<b>CONGO</b>	14 944 600	8	14 950 500	8
<b>GHANA</b>	10 239 340	5	9 828 000	5
<b>INDIA</b>	7 100 000	4	7 100 000	4
<b>TANZANIA</b>	6 890 000	4	6 890 000	4
<b>MOZAMBIQUE</b>	6 149 897	3	6 149 897	3
<b>ANGOLA</b>	5 699 331	3	5 600 000	3
<b>UGANDA</b>	5 400 000	3	5 400 000	3
<b>VIETNAM</b>	5 228 500	3	5 370 000	3
<b>BENÍN</b>	3 675 147	2	4 000 000	2
<b>CHINA</b>	3 901 500	2	3 901 600	2
<b>INDONESIA</b>	3 900 000	2	3 900 000	2
<b>OTROS</b>	24 463 620	1	25 204 633	13
<b>Total</b>	<b>190 021 695</b>	<b>100</b>	<b>195 500 912</b>	<b>100</b>





## PARÁMETROS FQ MEDIDOS EN A, B y C

PRÁMETRO	SIGLA	EQUIPO	SITIO MEDICIÓN	DETALLES
Temperatura del agua (C°)	TEMP	WTW y HORIBA U-10	Quebradas y vertidos, <i>in situ</i>	Termómetro centígrado, sensor de Pt
Actividad ión hidrógeno	pH	"	"	Método potenciométrico con electrodo de vidrio
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	CE	"	"	Método potenciométrico, conductímetro con celda de electrodos no platinizados
Oxígeno Disuelto (mg/l)	OD	HORIBA U-10 y HACH	"	Método de electrodo de membrana y Winkler
Sólidos Totales (mg/l)	ST	Estufa, Desecador, Vaso de precipitado de cuello alto, Placa de evaporación	Quebradas y vertidos en A, B y C	Se agita la muestra y se ajusta a pH > 4,3 se seca en estufa a 103-105 °C por 2 h, desecador por 3 h Pesar hasta obtener peso constante
Sólidos Suspendedos Totales (mg/l)	SST	Crisol Gooch, agitador magnético, desecador	"	El filtro con residuo húmedo se seca 1 h a 103-105°C, enfriar en desecador y se pesa a peso constante .
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	DBO <sub>5</sub>	WTW-MERCK-OXITOP, R-12	"	Método respiro métrico según métodos estándar de APHA-AWWA-WEF
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	DQO	Espectrofotómetro SQ-118-MERCK	"	Método de reflujo cerrado. λ = 445 nm, para DQO = 10-500 mg/l y λ = 585 nm para DQO = 500-10000 mg/l.
Cianuro (mg/l)	CN	"	"	Método colorimétrico normalizado 4500-CN de la APHA-AWWA-WPCF. λ = 578 nm
Nitrato (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"	"	Métodos fotométricos normalizados Spectroquant. λ = 515 nm
Nitrito (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	"	"	"
Nitrógeno Amónico (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	"	"	Métodos fotométricos normalizados Spectroquant. λ = 540 nm
Carga Contaminante (kg/día)	CC	Calculada a partir del flujo de SST, DBO <sub>5</sub> y DQO	"	(2 DBO <sub>5</sub> +DQO)/3 +SST

## DESCRIPTORES DE LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD

PARÁMETRO	SIGLA	DETALLES	ECUACIÓN
Densidad (número organismos x m <sup>2</sup> )	N	Gran dependencia entre la media y la varianza de los datos obtenidos	
Riqueza (número de taxones diferentes x m <sup>2</sup> )	S	Puede ser un indicador que sintetiza el estado de salud de un sistema	
Diversidad de Shannon (Shannon & Weaver, 1949)	H'	Basada en Teoría de la Información. Expresión cuantitativa que equivale a una condición ecológica determinada. El máximo tiene lugar cuando todos los elementos pertenecen a una clase diferente.	$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$
Equitatividad (Pielou, 1975 y 1977)	J	Descriptivo de las relaciones de abundancia. Expresa la regularidad con que los individuos están entre las especies, valora la distribución de los individuos por especie. Los valores van de 0 a 1.	$J = H'/H_{\max} = H'/\log_2 S$

## ÍNDICES DE CALIDAD EMPLEADOS

PARÁMETRO	DETALLES
BMWP para Colombia (Zamora, 2005)	Basados en la presencia o ausencia de familias de MIB indicadoras de calidad del agua por su diferente tolerancia a la contaminación, especialmente la de origen orgánico. El valor del índice <i>BMWP</i> se obtiene mediante la sumatoria de todos los puntos obtenidos por las diferentes familias presentes en cada muestra.
<i>Average Score Per Taxon (ASPT)</i>	Corresponde al valor del índice <i>BMWP</i> dividido por el número de taxones presentes (S). Cuanto mayor sea el valor de este índice, mayor es el porcentaje de taxones sensibles a la contaminación de tipo orgánico.

## COMPARACIONES CON OTROS ESTUDIOS EN RALLANDERIAS

	HS	Chaux-Vergara	CRC	*FAO-IFAD 2001	Torres-Rodriguez	Rojas	Vergara 2008	Gallego-Garcés	Cereda-Takahashi
Lavadoras (kg/h)	565-1535								
Lavadoras consumo agua (m <sup>3</sup> /h)	1,97-4,47	1,90	1,12-0,79						
Aguas Residuales (m <sup>3</sup> /t almidón)	39-47			(20-40) y (20-100)					
Aguas Residuales (m <sup>3</sup> /día)	33,2-49,5	30				18-48	49		
AR de canales (m <sup>3</sup> /h)	5,5	3,6	2,7-3,3		5,0				
AR por t de yuca <b>ARCTTY</b> (m <sup>3</sup> /día)	8,9-10,7	9,5					7,4		
CATY (m <sup>3</sup> /t de yuca)	11,8-14			B(6-7), I(5-11), V(8), T(10-18), E(9-12)					
ALM (t/día)	0,7-1,3			Vn(0,05-0,6), In(2-10), Vs(25-200), T(100-300)					
ARCTTA (m <sup>3</sup> /t almidón)	39-46,9			B(21-32), In(31); T(25-45), CH(40), E(36-76)					
CNT (mg/kg ps)	NT1(436-416) y NT2(531)							409	444

Nota: \* FAO and IFAD=B (Brasil), I (Indonesia), V (Vietnam), T (Tailandia), E (Ecuador), Vn (Vietnam Norte), Vs (Vietnam Sur), In (India), CH (China).

## COMPARACIONES DE LOS VERTIDOS CON OTROS ESTUDIOS

	Colombia HS	Vietnam Norte	India	Camboya	Vietnam Sur	Tailandia	Brasil	Chaux-Vergara	Paz-Piamba	Vergara 2008	CRC 2004
YFD (t/día)	3,1-5,6	0,25-0,50	10-50	80-100	100-800	400-1200					
Número de agroindustrias	43-62	1000	850-1000		11	51					
HCN en AR (mg/l)	0,71	28				13					
pH	4,24-5,28			4,5-4,8		3,4-6,5	3,8-5,2	4,22-5,59	4,2-6,5		
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,38-1,10									0-3	
DQO (mg/l)	4024-5714		5631-6409	8560-8910		4950-36840	6280-51200	1799-5579	3447-7966	1290-26700	
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1103-1171		4600-5200	5810-6020		2508-16880	1400-34300		2142-2907	689-8910	2822
ST (mg/l)	1227-2356	1500	4000-6600	7275-7815		2592-7604	5000-56460	1682-4325			
SST (mg/l)	755-1866		1868-2960	1240-1695		2642	950-16000	774-1860	498-2783	190-7860	468
NTOT (mg/l)	5,5-6,8	15	66-72			84-375	140-1150				

## COMPARACIONES CON OTROS ESTUDIOS EN A y B EN LAS QUEBRADAS

	HS 24	HS 40	Norma Colombia	Camboya	Subramanian	Kasthuri	EPA	Lassaletta	Galdean Brasil	Arimoro Nigeria	CRC	Gallego Garcés
pH	6,68-A 6,28-B	6,98-A 6,64-B	6-9	6,5-8,5					3,83-8,81	3,62-5,93 1,78-5,02	6-7,8 7	6,62- 6,94
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	14,92-A 52,37-B	26,19-A 51,74-B	30	<30 (1-10)						3,2-11,8 2,7-3,9	5-110 27,3	0,64- 23,83
DQO (mg/l)	55,1-A 158-B	66,75-A 119,5		<50							10-150 50,6	
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0,77-A 1,42-B	1,11-A 1,49-B	10	<10		0,95- 14,28		<0,44 8,8 (50)				
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,11-A 0,17-B	0,09-A 0,14-B	1			0,09- 0,30	<1					0,31- 0,69
ST (mg/l)	59-A 130-B	101-A 149-B		<60 (25-100)							55-350 193	
OD (mg/l)	6,35-A 4,94-B	5,95-A 5,08-B		>2						1,5-6,3 4,6-5,6	2,9-9 6,1	1,8-3,6
NNH <sub>4</sub> (mg/l)	0,050-A 0,108-B	0,048-A 0,139-B							0,031- 0,588			
NNO <sub>3</sub> (mg/l)	0,20-A 0,49-B	0,25-A 0,34-B							0,237- 0,972	0,87-2,89 0,6-2,6		
H'	1,35-A 0,73-B	1,17-A 0,48-B							1,17-3,66	2,71-3,27	1,36	0,55- 2,04
S	5-A 3-B	5-A 3-B			12				6-65		9	
BMWP	25-A 12-B	22-A 10-B			92						52	72
ASPT	5-A 4-B	3,7-A 3,5-B			8							