



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2021/2022

Nº de proyecto: 72

Modelos a escala de ríos (Flumes), fotogrametría digital, técnicas LiDAR, e impresión 3D para el desarrollo de un manual docente de prácticas de laboratorio con el objetivo de dinamizar la enseñanza de los procesos ligados a la geomorfología fluvial.

Julio Garrote Revilla

Facultad de Geología

Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto
2. Objetivos alcanzados
3. Metodología empleada en el proyecto
4. Recursos humanos
5. Desarrollo de las actividades
6. Anexos

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Este proyecto de innovación docente (Proyecto INNOVA-Docencia 2021/22 - Nº 72), continuación de los proyectos INNOVA-Docencia 2019/20 - Nº 38, e INNOVA-Docencia 2020/21 - Nº 301, tiene varios objetivos específicos: a) la actualización y mejora del modelo a escala de río para que el mismo pueda reproducir todos los tipos de cauces que encontramos en la naturaleza; b) enseñanza de formas y procesos geomorfológicos fluviales mediante el desarrollo de un manual de ejercicios prácticos; y c), la exposición pública a la comunidad educativa de los experimentos y logros alcanzados.

a) Para lograr el primero de los objetivos, se aprovechara la experiencia adquirida durante los proyectos INNOVA desarrollados en las dos últimas convocatorias, que nos ha mostrado que la utilización de arena silíceas en el modelo flume provoca algunas limitaciones en la utilización del mismo. Esto es debido a la excesiva densidad de la arena silícea, que si bien es la arena que de manera natural es transportada por nuestros ríos, no es el tipo de arena habitualmente utilizada en los modelos a escala. En estos últimos, de manera habitual se utiliza una arena plástica sintética que presenta una menor densidad, y que por tanto requiere de una menor energía de la corriente para ser transportada. La experiencia adquirida nos ha mostrado que la reproducción de las condiciones de los tramos de río más energéticos (principalmente condicionados por una mayor pendiente del cauce), que suelen ser de tipología "braided", es posible en la situación actual. Sin embargo, la reproducción de las condiciones, tipo de transporte, generación y destrucción de formas en la superficie del terreno, asociadas a los tramos de cauce menos energéticos (generalmente de tipo "meandriforme"), es difícilmente reproducible en el modelo de río actual. Esto es así porque al reducir la pendiente del cauce no se logra generar una energía suficiente para movilizar la arena silícea, al ser relativamente demasiado densa para nuestro modelo. Este problema se podría solventar con la adquisición de arena sintética; aunque el coste de esta es más elevado y por ello no se pudo afrontar su adquisición en convocatorias anteriores al no disponer de presupuesto suficiente.

b) El segundo de los objetivos, una vez el modelo a escala de río (flume) fue construido en el proyecto INNOVA-Docencia 2019/20 - Nº 38 y actualizado a través del proyecto INNOVA-Docencia 2020/21 - Nº 301, ha sido la recreación física de procesos y formas geológicas en el laboratorio. Para ello, y en base a la experiencia que el equipo solicitante ha ido adquiriendo durante los proyectos INNOVA concedidos en las dos últimas convocatorias, se plantea la recopilación y estructuración de dicha experiencia en la generación de un manual docente práctico, que permita a los nuevos alumnos (bajo la tutoría y vigilancia del profesorado) experimentar con un modelo de río, y comprobar de primera mano cómo la modificación de las condiciones del entorno provocan cambios en los ríos y en sus formas morfológicas asociadas.

c) El tercero de los objetivos planteados en este proyecto se centra en el incremento y mejora de la exposición pública (con preferencia sobre la comunidad docente o educativa) de los resultados alcanzados en el proyecto. Así como facilitar mediante la puesta a disposición pública de los documentos y datos relativos a los experimentos prácticos desarrollados. Toda la experiencia alcanzada por el equipo que conforma el proyecto puede facilitar la reproducción de los experimentos desarrollados en otras instituciones de enseñanza, tanto de enseñanza superior como de enseñanza media. Además, debido a que el modelo de río previamente construido podría considerarse como de bajo coste (la suma de las ayudas recibidas se sitúa en torno a las 750€, frente a los 15-20 mil euros que podría costar un modelo adquirido a una empresa), e incluso como socialmente sostenible debido al reciclaje llevado a cabo con múltiples productos, consideramos que puede ser una experiencia enriquecedora y reproducible en países con un nivel socio-económico inferior al de España.

Para lograr este objetivo se plantea la construcción de una página web específica del proyecto INNOVA, así como potenciar los contenidos digitales, gráficos, vídeos y documentos, que serán subidos a la red (canal de YouTube, Instagram, Twiter, etc...) donde el alumnado se mueve con más familiaridad.

Los objetivos planteados se desarrollan a partir de una idea central, que es que la enseñanza y aprendizaje de la geomorfología y sus procesos asociados requiere de una notable visión tridimensional y espacial. Sin embargo, en muchos casos no es sencillo trasladar el conocimiento geomorfológico a través de gráficos tradicionales (2D) o fotografías, pues en ellos se pierde la componente tridimensional de las formas en la naturaleza, así como una cuarta componente ligada al tiempo. En ocasiones, y aunque el alumno llega a comprender los conceptos teóricos, es difícil para el docente abordar la aplicación real o práctica de dicha teoría.

Por todo lo anterior, la posibilidad de observar de manera directa los procesos de erosión – transporte – sedimentación fluvial, que dan lugar a la formación de morfologías erosivas o sedimentarias, es realmente complicada. Sin embargo, a través de la utilización de un flume y en una escala de tiempo real, se puede modelizar la dinámica de un tramo de río modificando las variables principales que controlan un sistema fluvial real, esto es: gradiente, caudal líquido, carga sólida, tamaño de sedimento, etc. Estas capacidades permiten al docente enseñar la dinámica fluvial en tiempo real: procesos de formación, modificación y destrucción de estructuras morfológicas, y de las formas resultantes que sí podemos observar en la naturaleza de manera estática.

Además, como parte del aprendizaje, se incorporará a las Prácticas de Laboratorio de las asignaturas del Área de Geodinámica Externa la utilización de este modelo a escala de río, así como el resto de técnicas de obtención de datos para el análisis de formas y variaciones

morfológicas del terreno: a) fotografías y videos de los procesos y formas ligadas a la dinámica fluvial; b) la generación de modelos digitales del terreno mediante fotogrametría digital de detalle y su posterior análisis en un entorno SIG.

Los alumnos serán guiados por los profesores en todos los pasos del proceso, desde la adquisición de fotografías digitales de detalle encaminadas a la generación de modelos 3D, pasando por la elaboración de los Modelos Digitales del Terreno a partir de la técnica fotogramétrica, y finalmente el análisis cuantitativo de estos MDTs y de sus diferencias. Por otro lado, la impresión 3D de los modelos (MDTs) añade un valor visual considerable al trabajo, además de servir de material didáctico para las clases. Un modelo 3D impreso permite visualizar desde todos los ángulos las variaciones topográficas ocurridas entre los distintos modelos, y por tanto seguir y “tocar” dichas modificaciones. Por último, se generaran videos *time-lapse* de algunos de los modelos desarrollados, lo cuales serán añadidos a los canales de difusión más utilizados por el alumnado, como son las redes sociales.

2. Objetivos alcanzados

Objetivo A: actualización y mejora del modelo a escala de río.

A lo largo del presente proyecto, se ha procedido a la sustitución de la arena silíceo original con la que se construyó en modelo a escala de río, por una granalla plástica de menor densidad. Esta granalla plástica (de composición urea y melamina), posee un tamaño medio de grano de 1 mm (con un rango de tamaños según especificación del fabricante entre 0.85 y 1.18 mm), con una densidad de 0.7 g/cm³ (frente a los 2-2.8 g/cm³ de la arena silíceo). Esta significativa variación en la densidad del material que conforma los granos de sedimento, modifica sustancialmente la capacidad de transporte de las aguas para un mismo caudal circulante por el modelo, de tal forma que ya no es necesario alcanzar tensiones o fricciones elevadas para movilizar los granos silíceos (objetivo que se cumplía solo con pendientes del río elevadas, y que por tanto llevaban a conformar cauces de tipo “braided”). Así, con la configuración actual del modelo, y el uso de arena (granalla) plástica, es totalmente viable la puesta en funcionamiento del modelo con menores pendientes del cauce. En esta configuración, la energía que desarrolla el flujo de agua es menor, y por tanto también lo es la fricción que provoca sobre las partículas de sedimento. Sin embargo, debido a la menor densidad de este, el flujo de agua es capaz de movilizarlo. De esta forma, es posible configurar cauces de tipo “meandriforme”, y lograr la activación de los mismos (o de los procesos de erosión – transporte – sedimentación que tienen lugar en estos cauces) de tal forma que los alumnos son capaces de observar la evolución de este tipo de cauces y los procesos que entran en juego en dicha evolución.

Objetivo B: enseñanza de formas y procesos geomorfológicos fluviales mediante el desarrollo de un manual de ejercicios prácticos.

Durante el desarrollo de este proyecto de Innovación Docente no ha sido creado un manual al uso de ejercicios prácticos. En su lugar, los componentes del proyecto han creado el material necesario para la realización de ejercicios prácticos por parte de los alumnos de las asignaturas más relacionadas con la temática del proyecto. Este material no ha sido agrupado en un documento, en parte porque la mayoría del material generado es de tipo digital, y por tanto no almacenable dentro de un documento.

En su lugar, se ha abierto un espacio en la web dentro de la página del Grupo de Investigación UCM – Geomorfología Ambiental, enfocado a los proyectos de Innovación Docente (Programa INNOVA UCM).

[Innova | GEOMORFOLOGÍA AMBIENTAL Y DE RIESGOS \(ucm.es\)](http://ucm.es)

Dentro de este espacio en la web, se ha incorporado la información digital generada a través de las técnicas topográficas utilizadas en el proyecto, así como los videos generados, o los

ficheros necesarios para la impresión 3D de los modelos de río considerados. Todo ello englobado dentro de un conjunto de seis experimentos diferentes en los que partiendo de distintas configuraciones iniciales del cauce, se examina la evolución del mismo, y la morfología final que presenta.

Objetivo C: exposición pública a la comunidad educativa de los experimentos y logros alcanzados.

Algunos de los modelos más representativos de los generados a partir del uso del modelo de río construido en proyectos anteriores han sido subidos a la red, para que tanto los alumnos de las asignaturas relacionadas (dentro de los Grados en Geología e Ingeniería Geológica), como el público en general (principalmente público interesado en estas temáticas, que pueden ser estudiantes de ciencias de la tierra de otras universidades o países). Esta exposición pública de los resultados de nuestros experimentos puede diferenciarse en función del tipo de medio utilizado. Así, por un lado podemos englobar la difusión a través de redes sociales (Instagram, y Twiter), en las que se han creado perfiles específicos del Grupo de Investigación UCM (Geomorfología Ambiental y de Riesgos) al que pertenece el personal PDI que conforma este proyecto de Innovación Docente. A través de estos perfiles se da acceso a la información más inmediata y visual, como son los videos generados a través de la técnica de time-lapse. Los videos generados y subidos a estas redes tienen una duración aproximada en torno a 1 minuto, la que se consideró adecuada para mantener la atención del público objetivo a través de estos medios de difusión de información.

Por otro lado, con un público objetivo ligeramente diferente al anterior, estos mismos videos de los distintos modelos generados han sido ubicados en la página web del Grupo de Investigación UCM – Geomorfología Ambiental y de Riesgos (dentro del apartado de Proyectos INNOVA), complementados en este caso con otra información complementaria:

- Resúmenes – esquemas de los procesos observados en los videos.
- Ficheros digitales con las topografías inicial y final de cada modelo

La combinación de todas estas fuentes de información permite reproducir algunas de las partes del experimento, y a su vez da la oportunidad de desarrollar tareas prácticas en laboratorio sobre la base de las fuentes de información aportadas:

- Delimitación espacial de zonas con dominio de distintos procesos (erosión – sedimentación)
- Cuantificación volumétrica de los procesos observados.
- Aplicación de herramientas de análisis de cambios en la superficie del terreno, como la aplicación gratuita “Geomorphic Change Detection”, Riverscapes Consortium®, que funciona sobre el software ESRI ArcGIS.

3. Metodología empleada en el proyecto

3.1. Simulación fluvial en modelo a escala – flume.

Una vez iniciado un modelo o simulación, y dada la capacidad de detener el funcionamiento del flujo, se indicaba a los alumnos el inicio de diferentes procesos ligados a la dinámica fluvial: erosión de orillas, transporte de sedimento, formación o desarrollo de barras fluviales, procesos de corta de meandros, avulsión de canales, formación de deltas de desembocadura fluvial,...

3.2. Fotogrametría digital de detalle para la elaboración de modelos digitales 3D.

En los instantes inicial y final de los ensayos, se procedió a la toma de fotografías digitales de detalle (con solape de al menos el 50% en todas direcciones) con el objetivo de posteriormente (y ya en las aulas de ordenadores) proceder a aplicar con las mismas las técnicas de fotogrametría digital con el objetivo de generar modelos digitales de elevaciones de dichas situaciones inicial y final del modelo. Con estos datos se puede proceder al análisis de las variaciones en los modelos y la cuantificación de las mismas; y son los datos imprescindibles para la generación de modelos 3D físicos (mediante el uso de una impresora 3D) representativos de dichos momentos temporales inicial y final.

3.3. Topografía de precisión (laserscanner terrestre) para la elaboración de modelos digitales 3D.

Al igual que en el caso de la aplicación de técnicas fotogramétricas (explicadas anteriormente), tanto en el instante inicial como final de los ensayos se procedió a la toma de datos topográficos mediante el uso de un laserscanner terrestre. La aplicación de estas técnicas de adquisición de datos topográficos de detalle permite cubrir dos objetivos: por un lado el de familiarizar a los alumnos de Geología con el uso de laserscanner terrestres (técnica topográfica ampliamente desarrollada y utilizada en la actualidad para la generación de topografías de detalle); y por otro lado la utilización de los datos obtenidos para el análisis de los cambios (cuantificación espacial y volumétrica) sucedidos en cada uno de los experimentos llevados a cabo. Al igual que en el caso de las técnicas fotogramétricas, los resultados que nos ofrece el laserscanner sirven de base para la generación de modelos físicos 3D a partir de la impresión de los resultados obtenidos. Y también al igual que en el caso de los datos obtenidos por fotogrametría, permite la implementación de los datos generados con el laserscanner dentro de un entorno SIG (Sistemas de Información Geográfica) en el que llevar a cabo los análisis de cambios en la superficie del terreno; además de permitir la discusión del origen de los mismos y los procesos fluviales involucrados.

3.4. Impresión 3D de modelos digitales de superficie del terreno.

Una vez obtenidos los ficheros *.stl correspondientes a los instantes Inicial – Intermedio –

Final, estos son incorporados a un programa de impresión 3D, el cual se encarga de generar el laminado del modelo, o descomposición del relieve es una serie de láminas que serán las que posteriormente la impresora va imprimiendo y apilando para generar el bloque-modelo 3D. Una vez obtenidos, los alumnos pueden discutir los cambios y señalarlos físicamente en el objeto que constituye la impresión 3D.

4. Recursos humanos

El grupo de profesores que integra el equipo humano del proyecto tiene una amplia experiencia docente e investigadora, abarcando en su docencia múltiples asignaturas (Grado y Máster) en las que los objetivos alcanzados en el presente proyecto pueden ser de utilidad para la mejora docente:

Asignaturas en las que se va a aplicar el proyecto:

- Geodinámica Externa (Obligatoria) - 2º Grado en Geología
- Geomorfología (Obligatoria) - 3º Grado en Geología
- Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (Optativa) - 4º Grado en Geología
- Geología aplicada a la Biología (Obligatoria) - 1º Grado en Biología
- Riesgo Fluvial, Costero y de Laderas (Obligatoria) - Máster en Geología Ambiental
- Restauración Geomorfológica (Obligatoria) - Máster en Geología Ambiental

Además, el proyecto implicaba también a personal PAS, y alumnos del Grado en Geología y el Master en Geología Ambiental. La labor principal del PAS involucrado en el proyecto, el cual es Técnico Informático, se ha centrado en las tareas de creación y mantenimiento de la página web del Proyecto de Innovación UCM (creada dentro de la página web del Grupo de Investigación UCM al que pertenece todo el personal PDI que participa en el proyecto de innovación docente), en la que se han ido almacenando y poniendo a disposición pública los datos generados durante el proyecto; y a su vez se ha encargado también de crear y gestionar los perfiles de redes sociales creados ex-propósito para dar visibilidad a los logros y objetivos alcanzados en el proyecto de Innovación Docente. Mientras que los alumnos han participado activamente en el desarrollo y puesta en funcionamiento de los modelos, con el desarrollo de las expectativas iniciales de evolución del modelo flume, y el registro final de cambios ocurridos en el mismo para su comparación con dichas hipótesis iniciales.

Además, el intercambio de ideas y comentarios con los alumnos implicados en el proyecto durante la fase de análisis de las capacidades simuladoras y limitaciones del modelo, intercambiando puntos de vista y opiniones ha servido para dinamizar posteriormente los ensayos llevados a cabo con los alumnos de las asignaturas anteriormente mencionadas. Permitiendo centrar y focalizar foros de discusión sobre las principales dudas y comentarios previamente surgidos con el grupo de alumnos que ha participado en el desarrollo de este proyecto. En este sentido, todas estas discusiones han sido enriquecedoras y también han aportado al proyecto un feedback o retro-alimentación con los alumnos.

Por otro lado, el núcleo de este grupo humano ha formado parte de los tres proyectos de Innovación Docente UCM que se han desarrollado en estas tres últimas convocatorias, desde el año 2019.

5. Desarrollo de actividades

Las actividades desarrolladas pueden dividirse en dos grandes grupos: por un lado aquellas que se desarrollaron en el laboratorio donde el modelo a escala de río está localizado (y que comprende los apartados 5.1 y 5.2 de esta memoria); y por otro lado aquellas otras actividades desarrolladas en las salas de ordenadores (Aulas Informática), con posterioridad al desarrollo de los experimentos anteriores, y que se basan en la utilización de los datos previamente recopilado mediante las distintas técnicas topográficas aplicadas (fotogrametría digital, y uso de laserscanner).

5.1. Fase de observación directa, supervisada y guiada por el profesor

Durante esta fase, se implementaron distintos tipos de modelos en los que a partir de una configuración inicial, se observaron y comentaron los cambios producidos, el origen de los mismos, y que procesos son los que dominaban dichos cambios. A continuación se comentan brevemente algunos de los modelos (o partes de los mismos) desarrollados:

- **Delta dominado por el aporte continental:** con 2,5 m de longitud, es posible poner en funcionamiento al mismo tiempo la desembocadura de un canal fluvial y una línea de costa. Se puede observar perfectamente la superposición de lóbulos de progradación, así como de la avulsión entre ellos. Los alumnos pueden comprobar conceptos comentados en teoría, como por ejemplo la diferenciación entre zonas activas e inactivas del abanico, y como estas se van alternando en el tiempo y el espacio.

- **Ríos meandriformes con distintos índices de sinuosidad:** La evolución de los meandros es suficientemente dinámica para poder observar erosión en las márgenes externas de los canales, y sedimentación en la interna. La migración de los meandros en el sentido del flujo puede acabar con la aparición de procesos de estrangulamiento de los meandros, o bien con procesos de avulsión del canal si el cauce original es abandonado. Otro de los procesos observados es la modificación general de la morfología del canal respecto a la inicial. En general, se ha observado que los cauces sufrían procesos de ensanchamiento y somerización, lo que llevaba a plantear que la morfología inicial dada no se adaptaba a las condiciones de granulometría del sedimento y caudal circulante; y como ante estas situaciones (que pueden darse en procesos o trabajos de restauración fluvial) el río tiende a modificar su forma para alcanzar una morfología de equilibrio.

- **Ríos braided completos.** Formación de canales secundarios y avulsiones, erosión remontante con identificación precisa de los puntos de inflexión. El funcionamiento de este tipo de cauces ha sido muy satisfactorio, y los alumnos pudieron comprobar la gran dinámica (por su velocidad de cambios y por la cantidad de cambios en si misma) de este tipo de cauces. En algunos casos, y en la parte más próxima a la desembocadura

fluvial, se observa la formación de planicies (alluvial plains) que tienen su continuación en la zona sumergida con la formación de un abanico aluvial sumergido (alluvial fan)

- **Confluencia de dos ríos**, con intensificación de los procesos de erosión aguas abajo. La posibilidad de configurar el modelo con dos entradas de caudal diferentes (que puede asemejarse a la presencia de dos cauces), permite reproducir los procesos que tienen lugar en las zonas de confluencia de dos ríos. Los procesos de erosión y depósito de sedimentos en la zona de confluencia son analizados; así como la evolución de estas zonas cuando la diferencia de caudales entre los dos ríos provoca la “predominancia” de uno de ellos en las labores de modificación de la superficie del terreno. En este sentido, se puede simular los procesos que llevan a situaciones en las que uno de los cauces (con menor caudal y por tanto menor capacidad de modificación) llega a quedar colgado respecto al cauce dominante.

5.2. Fase de interacción con el flume.

Los alumnos han podido interactuar y experimentar con el flume de dos maneras, cambiando los factores intrínsecos y extrínsecos en un mismo escenario: Los factores intrínsecos están controlados, principalmente, mediante la inclinación del flume, y la distribución del sedimento. Los factores extrínsecos o hidro-climáticos, mediante la variación del caudal. A continuación enumeramos algunos ejemplos:

- Un río meandriforme, tiende a desarrollarse en una llanura de inundación con bajo gradiente, pero se transformara en un río braided ante un incremento del gradiente. Este proceso se conoce como metamorfosis fluvial y un flume es el lugar perfecto para observarlo.
- En un río meandriforme, los procesos de erosión y depósito de sedimento se distribuyen espacialmente en conjunción con la energía del flujo de agua. El proceso más fácilmente reconocible ha sido la erosión de las márgenes externas de los meandros y la migración del meandro aguas abajo en el sentido del flujo.
- Las variaciones de caudal aceleran o ralentizan los procesos de erosión, transporte y sedimentación (cambio en el caudal recirculado). Los incrementos bruscos de caudal (como por ejemplo los asociados a la apertura de las dos tomas de agua del modelo, en vez de una sola) tienden a dar lugar modificaciones catastróficas, como pueden ser los procesos de avulsión fluvial en los que el cauce cambia drásticamente de posición abandonando el canal antiguo.
- Tras un periodo de sequía, (ausencia de caudal), los ríos son perdedores, es decir, recargan el acuífero aluvial. Una vez saturado el subsuelo comienza la escorrentía superficial y los procesos fluviales. Este proceso se puede reproducir satisfactoriamente tras un periodo prolongado de inactividad del flume, cuando toda

la arena del mismo se ha secado. Al volver a ponerlo en funcionamiento, no se produce una escorrentía superficial efectiva hasta que no hay una saturación del suelo o sedimento.

- El exceso de caudal se manifiesta como una riada o inundación. Se puede seguir la secuencia de inundación, con una sucesión de zonas inundables. Se pueden construir viviendas a escala con la impresora 3D, así como puentes, etc... situarlas en la llanura aluvial y simular una inundación, tal y como se realiza en los modelos hidráulicos teóricos. Estos ejemplos han empezado a ponerse en marcha junto con los alumnos de la asignatura de Master de “Riesgo Fluvial, Costero, y de Laderas”.

5.3. Registro cualitativo y cuantitativo

El material audiovisual generado es de un gran valor didáctico porque contiene una dimensión temporal. El registro mediante video (con una cámara cenital) es completamente novedoso y sobre todo les permitirá comprender los procesos geomorfológicos de manera dinámica. Está basado en la construcción de videos *time-lapse*, en los que mediante una configuración de captura de 1 imagen por segundo (y con videos de 30 fpm), un experimento con una duración de 1 hora queda reducido a un video de 2 minutos de duración. Estos videos, se difundirán tanto para la comunidad estudiantil de la Facultad de Geología (acompañando al resto de material generado, y con el objetivo de profundizar más en el aprendizaje y los análisis llevados a cabo); como para el público general a través de los perfiles en la redes sociales generados al efecto.

Por otro lado, la generación de modelos digitales a partir de los escenarios es una fase completamente nueva para el alumnado y su potencial educativo es muy destacable, dado que el objetivo final en nuestros programas docentes es la aplicación práctica (cartográfica, cuantificación, etc...). La idea es que los alumnos elaboren modelos de los escenarios geomorfológicos del laboratorio (fases inicial – final). Con estos modelos se pueden hacer dos tareas: a) utilizarlos como base topográfica de alta resolución, tanto en modelos hidráulicos virtuales en clase, como una base para practicar la cartografía geomorfológica y de riesgos geológicos (pueden crear mapas topográficos, de sombreados, hacer medidas de distancias, alturas, pendientes, cuantificar variaciones espaciales y volumétricas,...); b) imprimirlos en 3D y observar in-situ las variaciones existentes entre los modelos.

5.4. Divulgación de los resultados

El material audiovisual relacionado con la construcción de la instalación, así como algunos detalles de los escenarios y modelos 3D están disponibles en la web del grupo de investigación:

[Innova | GEOMORFOLOGÍA AMBIENTAL Y DE RIESGOS \(ucm.es\)](http://Innova | GEOMORFOLOGÍA AMBIENTAL Y DE RIESGOS (ucm.es))

A lo largo del curso, los resultados estarán disponibles para los alumnos en el correspondiente Campus Virtual de cada asignatura del Área. En este caso será un material más detallado (incluyendo los datos topográficos generados), y orientado al aprendizaje especializado, al trabajo del alumno mediante tareas concretas (análisis de variaciones y su cuantificación espacial y volumétrica), y a la evaluación del mismo.

Con un carácter más divulgativo se ha creado un canal de YouTube donde poder ir mostrando los videos “time-lapse” generados en los distintos experimentos, y además se irán subiendo también estos videos (o los enlaces al canal de YouTube) a las plataformas de Instagram y Twiter, donde también se han creado perfiles específicos para mostrar los resultados del proyecto:

Canal YouTube:

[Geomorfología Ambiental y de Riesgos - YouTube](#)

Perfil Instagram:

[UCM-Geomorfología Ambiental y de Riesgos \(@geomorfologiaambientalyriesgos\) • Fotos y videos de Instagram](#)

Perfil Twiter:

[UCM-Geomorfología Ambiental y de Riesgos \(@UCMgeoambiental\) / Twitter](#)

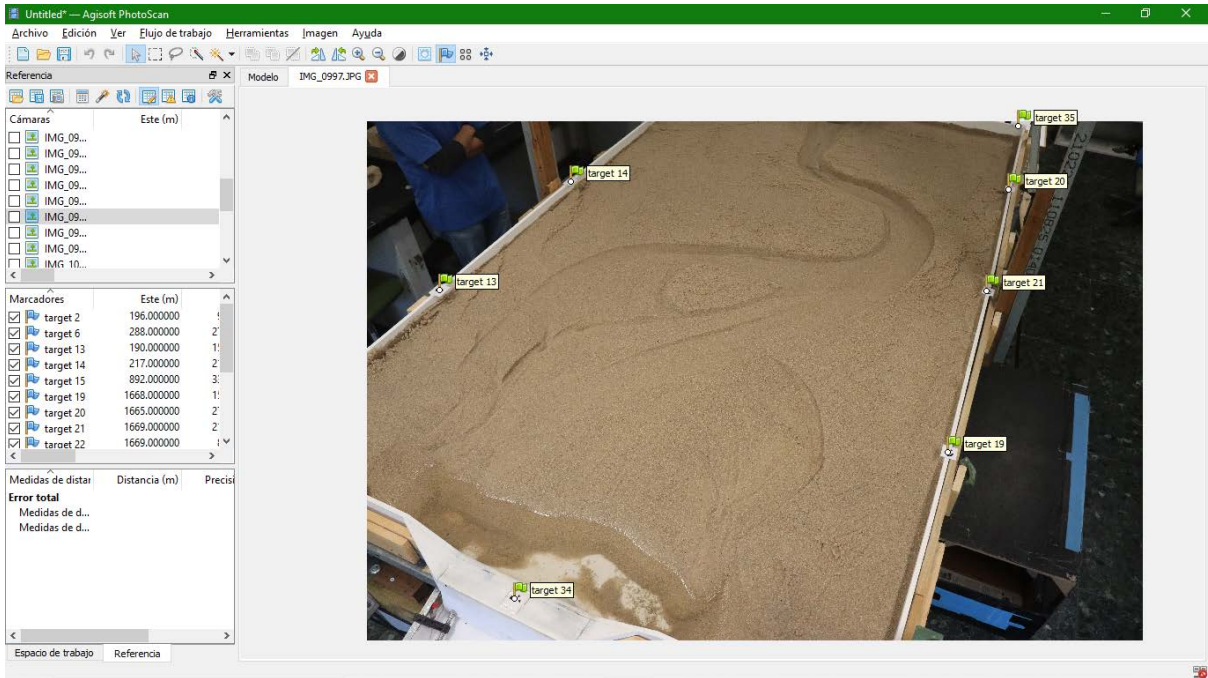
Por último, dada la singularidad del modelo, uno de los objetivos a futuro (que no ha podido ser alcanzado en este momento) es publicar en revistas especializadas de enseñanza (p.e. AEPECT), el proceso de diseño y construcción del flume, así como de la experiencia educativa que irá resultando en los siguientes meses.

6. Anexos

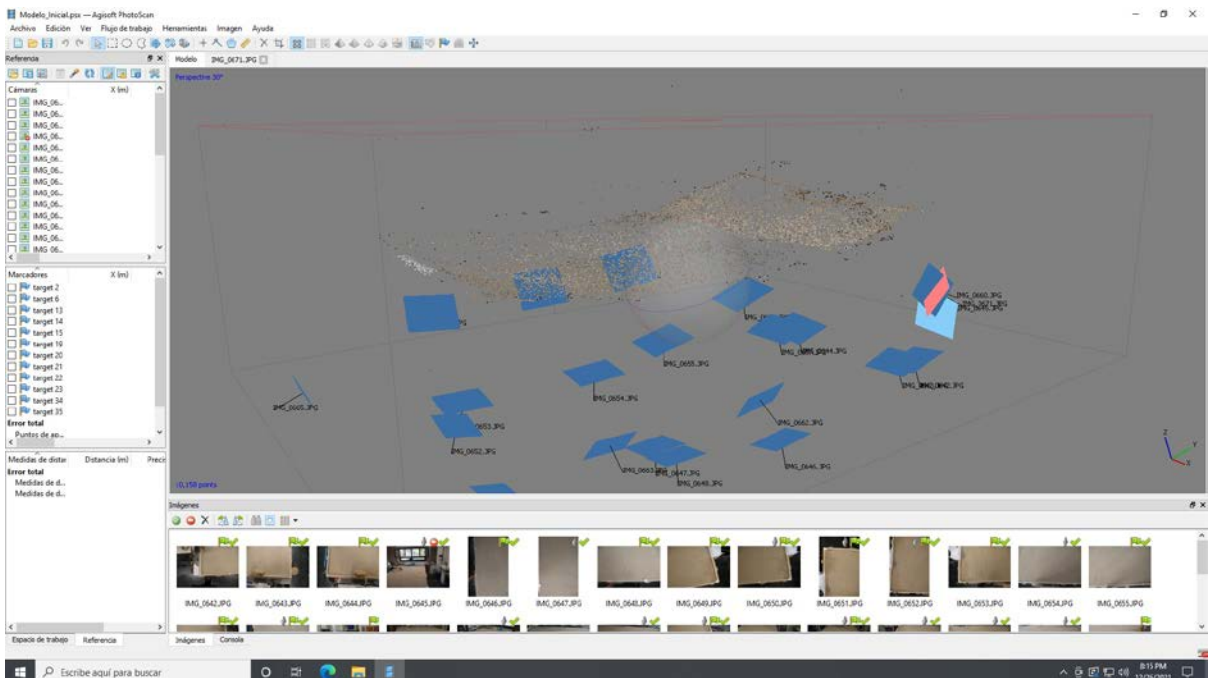
- Anexo I – Ejemplos de las técnicas fotogramétricas digitales de detalle.
- Anexo II – Ejemplos de las técnicas de Laserscanner utilizadas y tratamiento de la información con los softwares Cyclone y LP360.
- Anexo III – Tratamiento de las nubes de puntos topográficos con el software Cloud Compare.
- Anexo IV – Esquema resumen del modelo de “Canal Sinuoso con cortas meandros”.
- Anexo V – Esquema resumen del modelo de “Evolución canal meandriforme y corta final meandro”.
- Anexo VI – Esquema resumen del modelo de “Evolución cauce meandriforme con crecimiento meandros”.
- Anexo VII – Esquema resumen del modelo de “Evolución cauce trenzado o braided”.
- Anexo VIII – Esquema resumen del modelo de “Evolución cauce rectilíneo”.

ANEXO I

EJEMPLOS DE LAS TÉCNICAS FOTOGAMÉTRICAS DIGITALES DE DETALLE



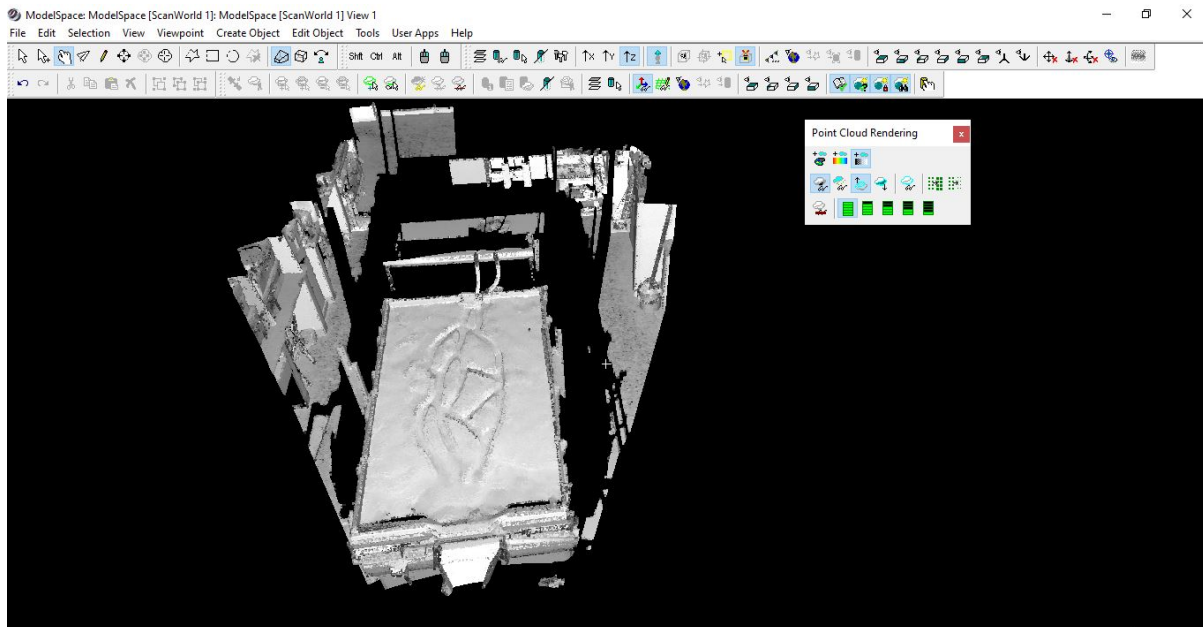
Localizando puntos de control (control points) en una de las imágenes obtenidas para la generación de Modelos Digitales de Elevaciones a partir de técnicas fotogramétricas digitales de detalle en el entorno del software Agisoft Photoscan.



Distribución de imágenes y nube de puntos de baja densidad en Agisoft Photoscan, durante el proceso fotogramétrico dirigido a la obtención del Modelo Digital de Elevaciones.

ANEXO II

EJEMPLOS DE LAS TÉCNICAS DE LASERSCANNER UTILIZADAS Y TRATAMIENTO
DE LA INFORMACIÓN CON LOS SOFTWARES CYCLONE Y LP360



Resultado del proceso de obtención de datos topográficos mediante laserscanner terrestre. La imagen corresponde a la situación inicial del modelo de evolución de un río trenzado o “braided”. A falta de seleccionar los puntos topográficos de interés, aparecen otros elementos del laboratorio en el que se localiza el modelo a escala de río.

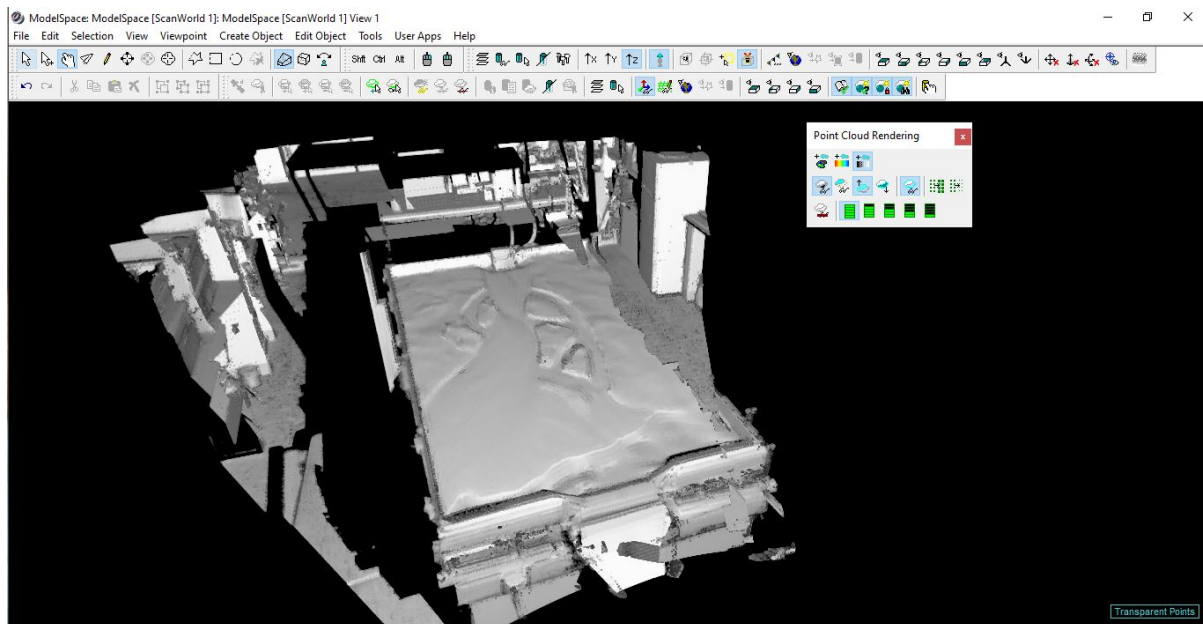
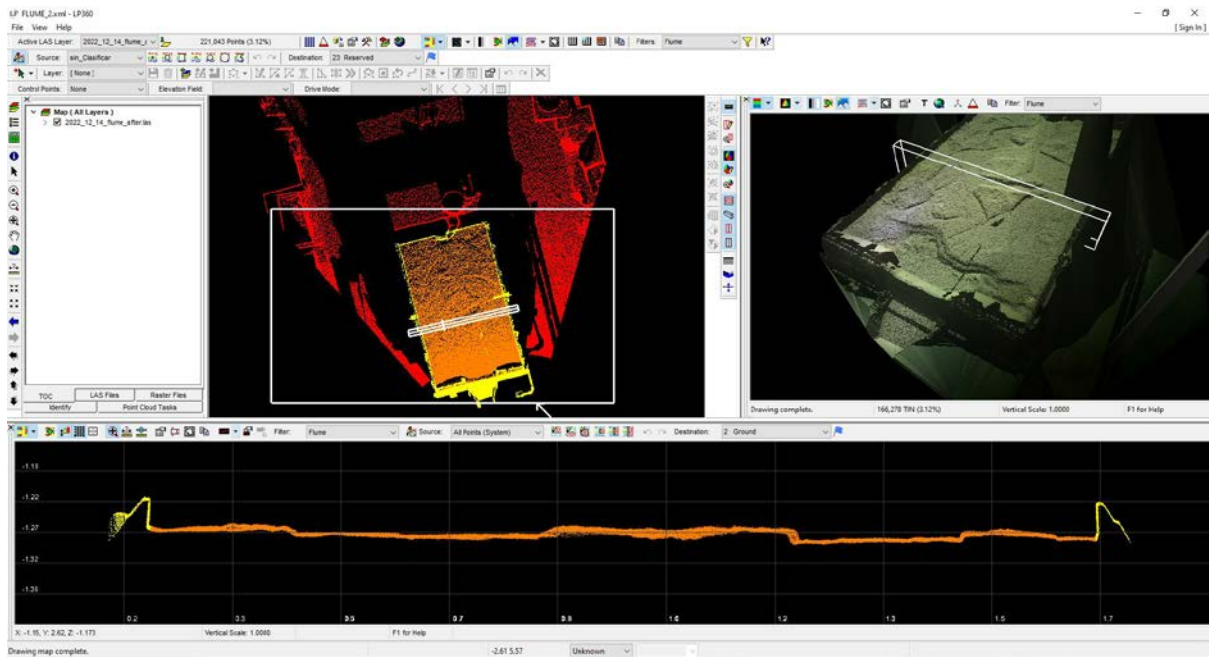


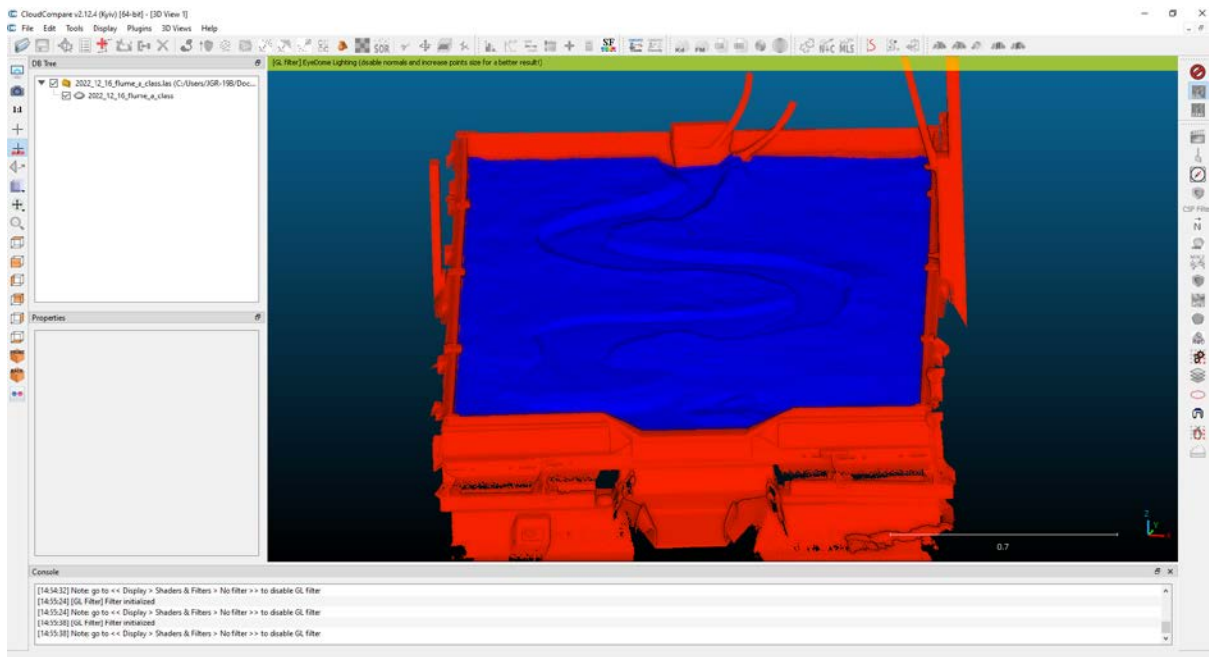
Imagen semejante a la anterior, para la situación final del modelo de evolución de un cauce trenzado o “braided”. Las imágenes corresponden a capturas de pantalla del software Cyclone, necesario para el manejo del laserscanner Leica.



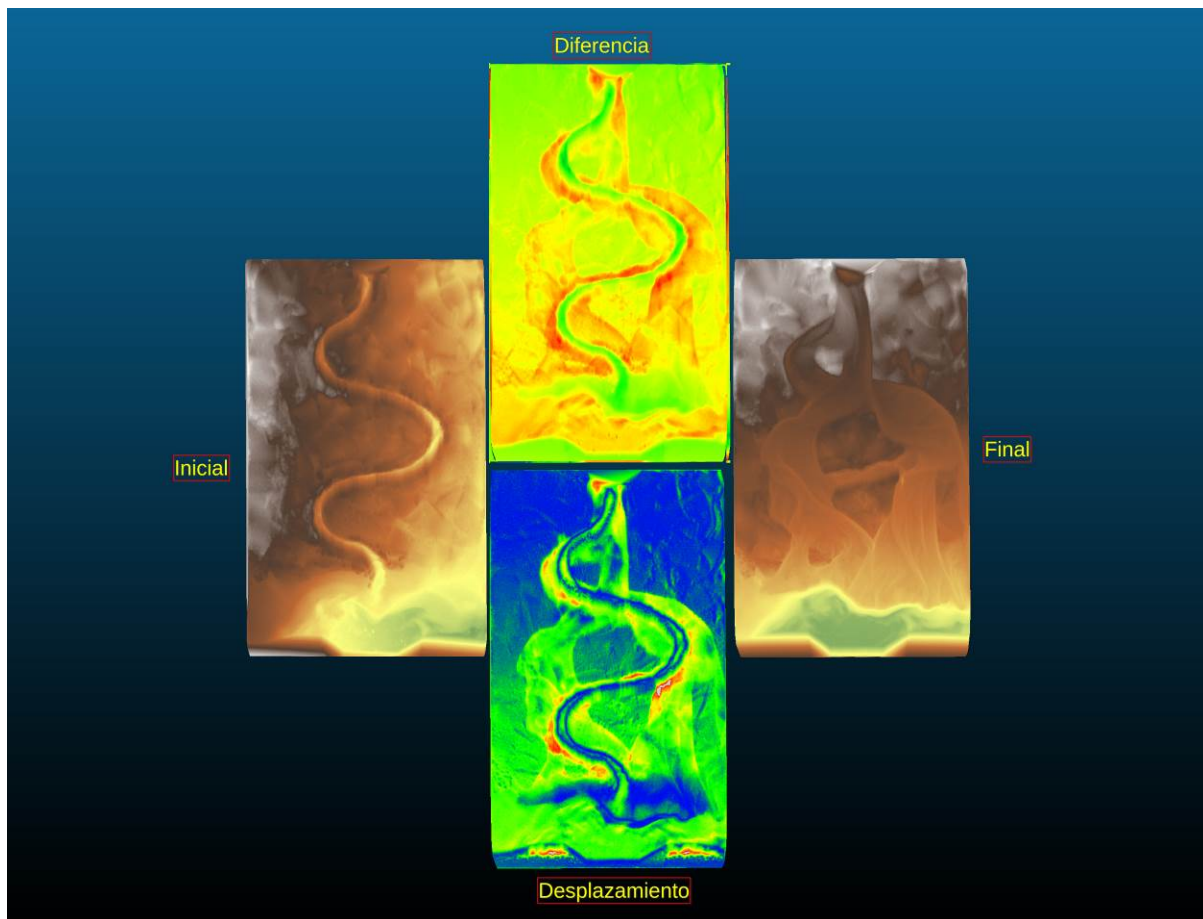
Procesado de las nubes de puntos topográficos obtenidos con laserscanner terrestre, mediante el software LP360. Durante este proceso, se procede tanto a la selección de los puntos de interés (aquellos pertenecientes al modelo de río), como a la clasificación de los mismos. Esta clasificación permite posteriormente el uso de diferentes conjuntos de puntos (clases) en función del objetivo final del análisis.

ANEXO III

TRATAMIENTO DE LAS NUBES DE PUNTOS TOPOGRÁFICOS CON EL SOFTWARE CLOUD COMPARE



Las nubes de puntos generadas mediante el uso del laserscanner, o bien mediante fotogrametría digital de detalle, pueden ser tratadas en entorno de software libre como Cloud Compare, permitiendo la selección de puntos, la limpieza de puntos erróneos del modelo, la geo-referenciación espacial de los datos, y la realización de análisis básicos e interpolaciones para conseguir superficies continuas. En la imagen se muestra el resultado en el instante final para el modelo de evolución de meandros.

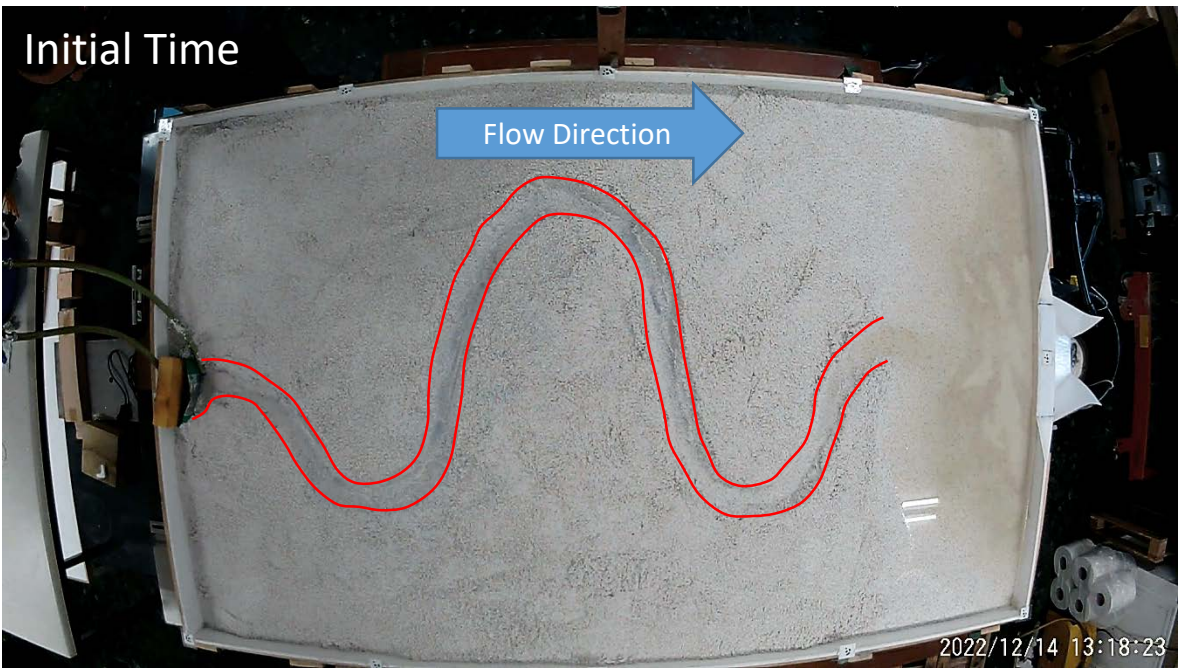


Montaje de salidas de resultados dentro del entorno de Cloud Compare. Estos resultados pueden ser exportados a un fichero raster (por ejemplo en el formato geo-tiff, pudiendo posteriormente ser utilizados en cualquier Sistema de Información Geográfica).

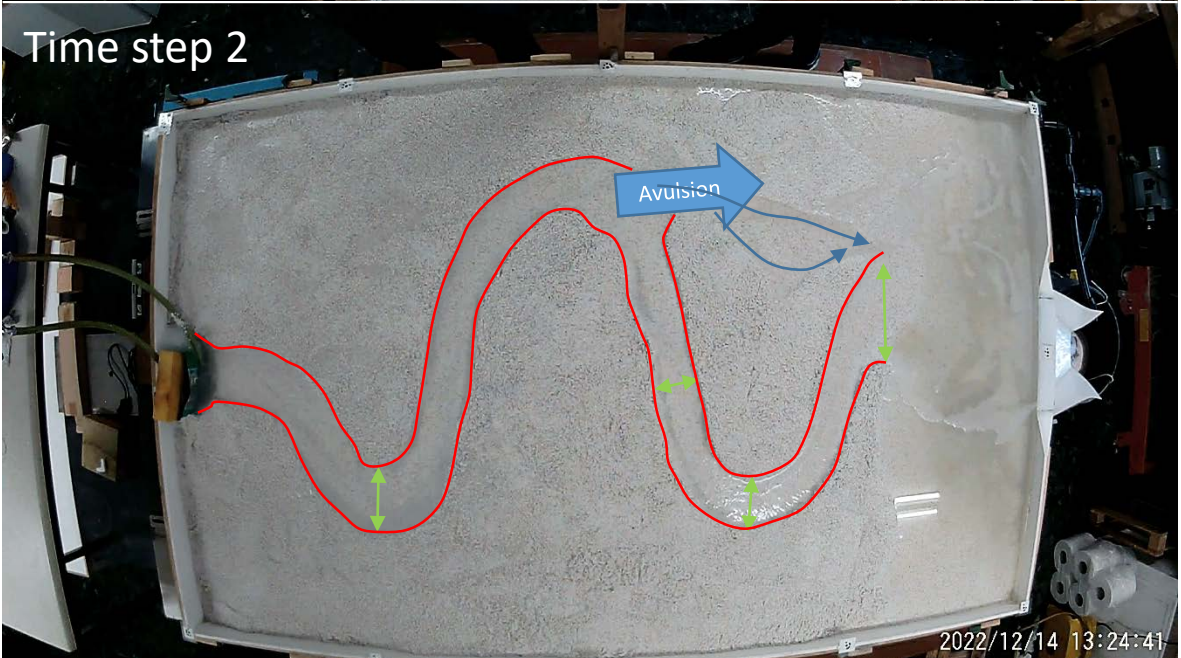
ANEXO IV

ESQUEMA RESUMEN DEL MODELO DE “CANAL SINUOSO CON CORTAS
MEANDROS”

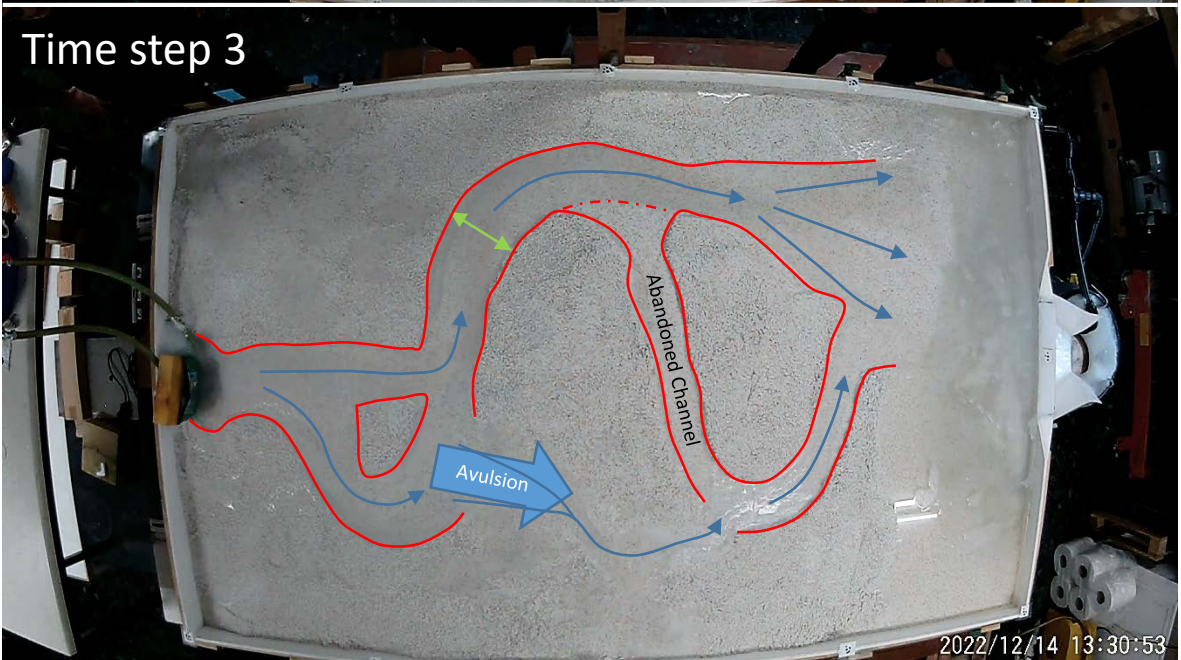
Initial Time



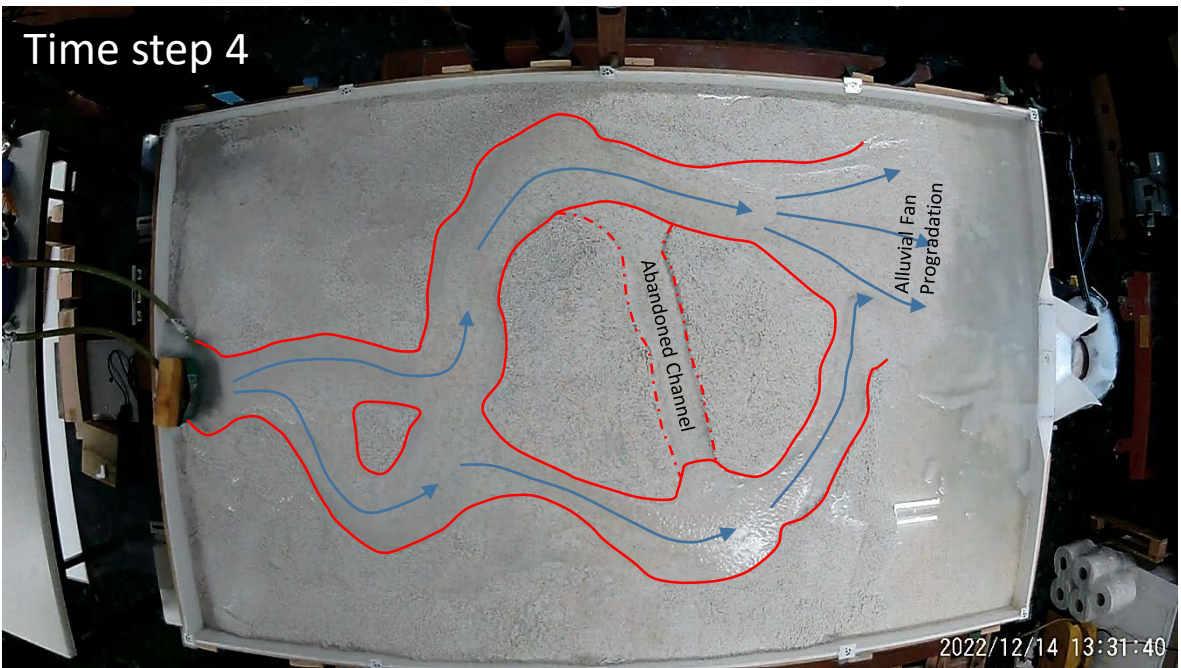
Time step 2



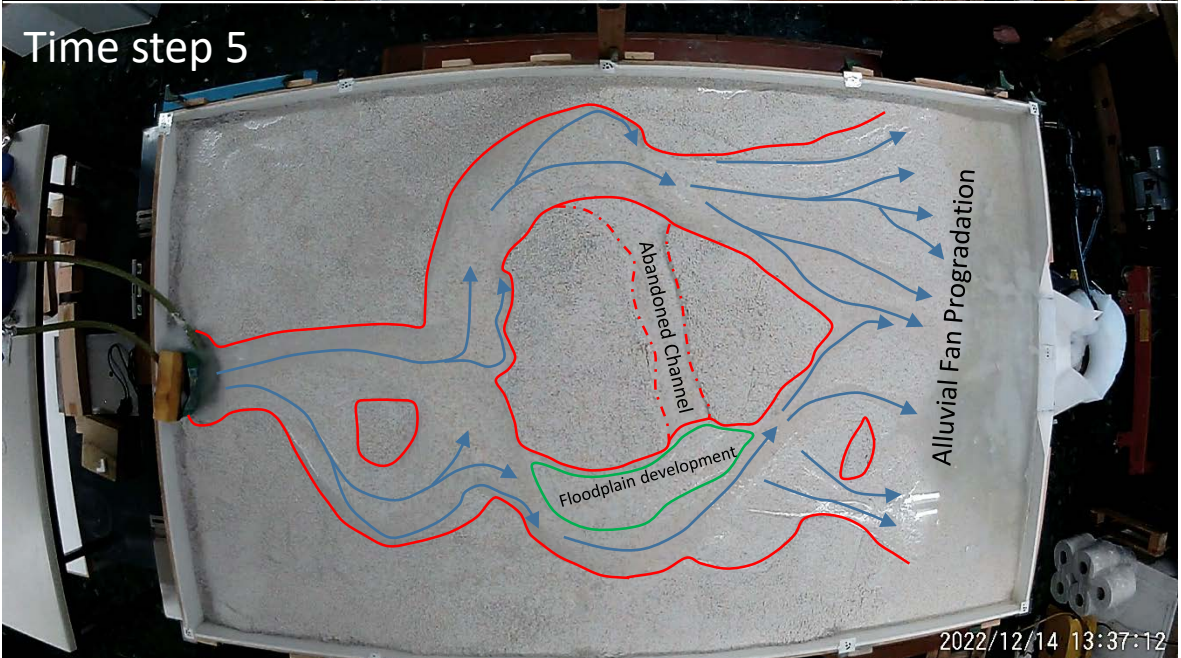
Time step 3



Time step 4



Time step 5



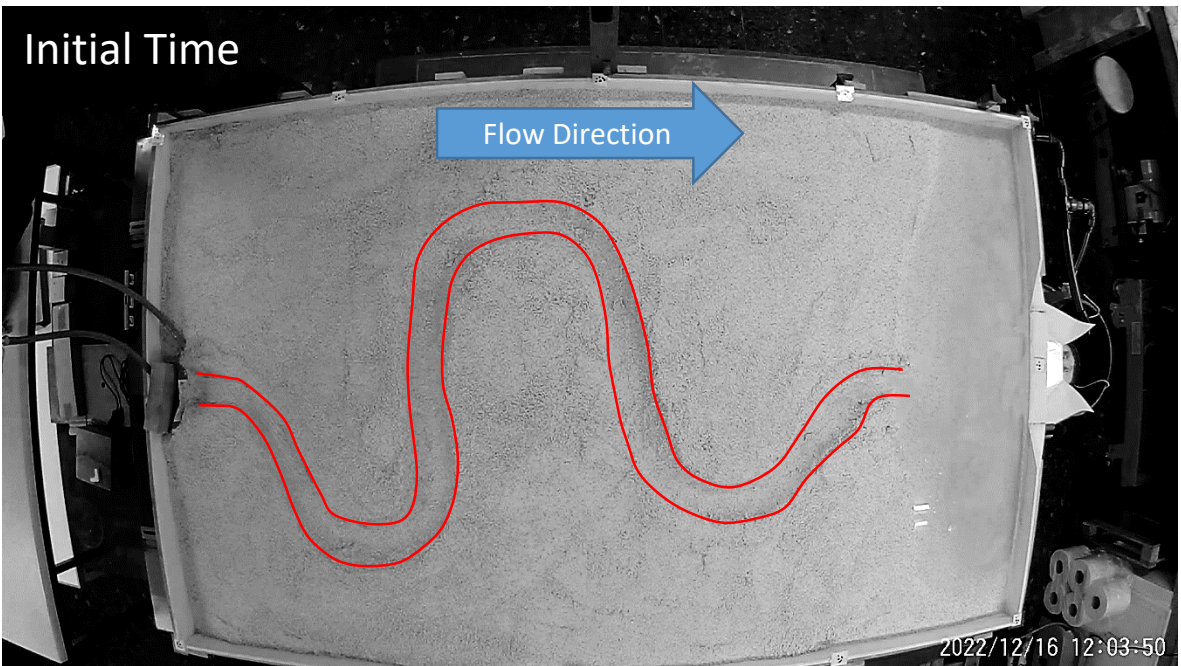
Final Time – Step 6



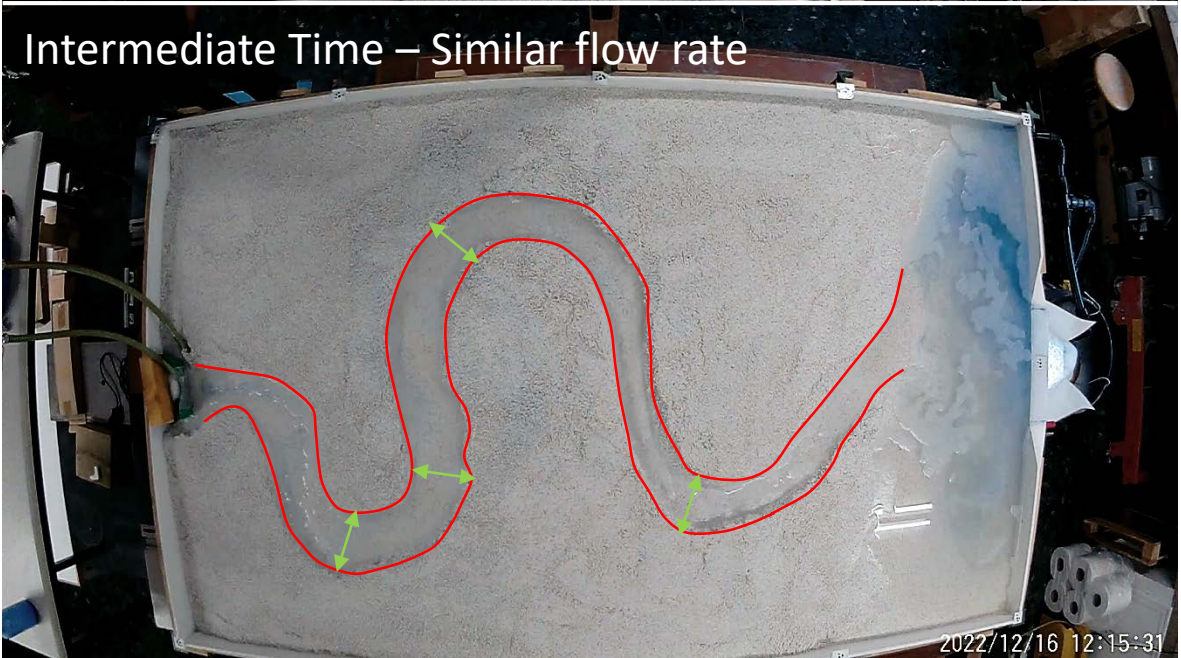
ANEXO V

ESQUEMA RESUMEN DEL MODELO DE “EVOLUCIÓN CANAL MEANDRIFORME Y CORTA FINAL MEANDRO”

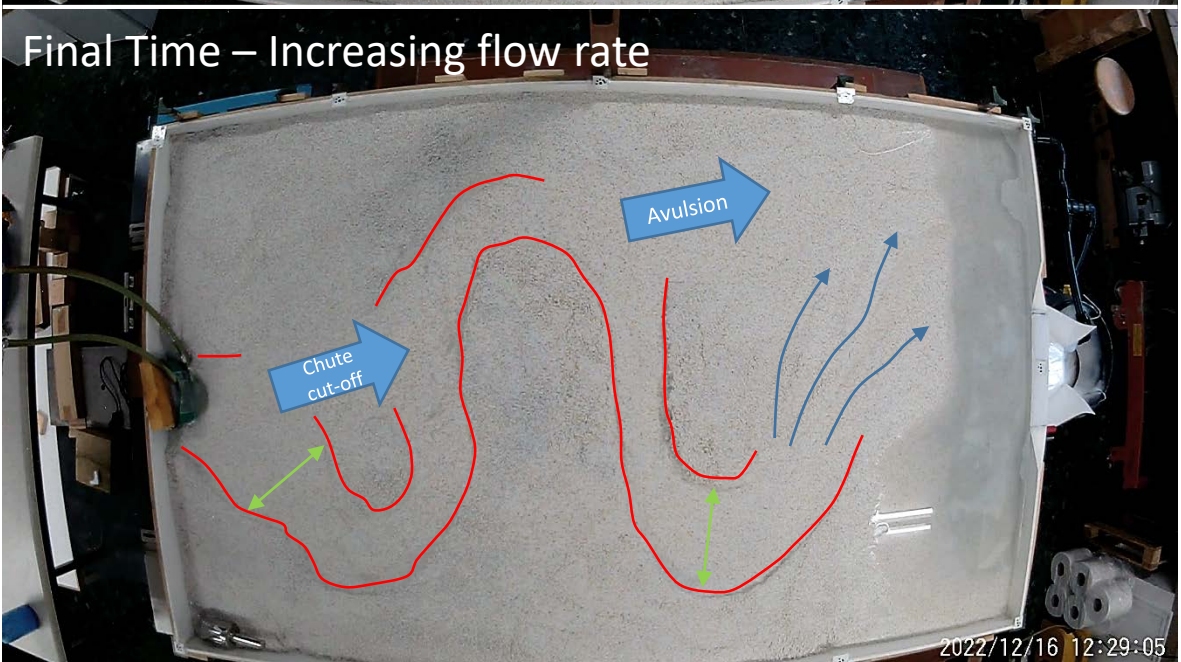
Initial Time



Intermediate Time – Similar flow rate



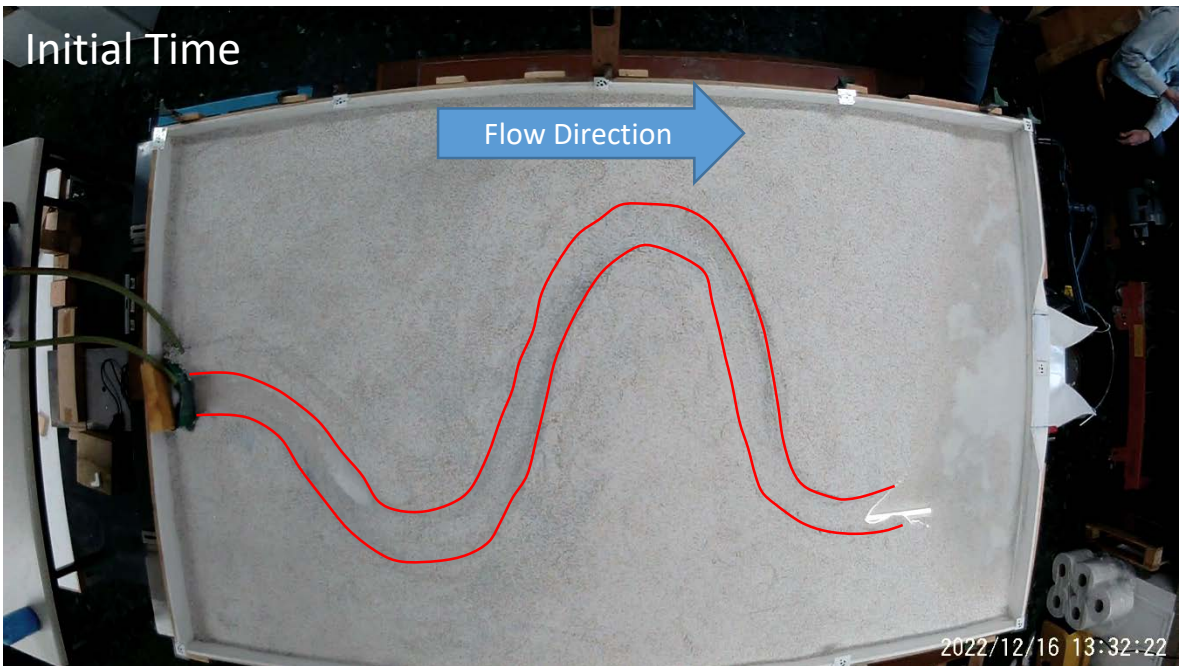
Final Time – Increasing flow rate



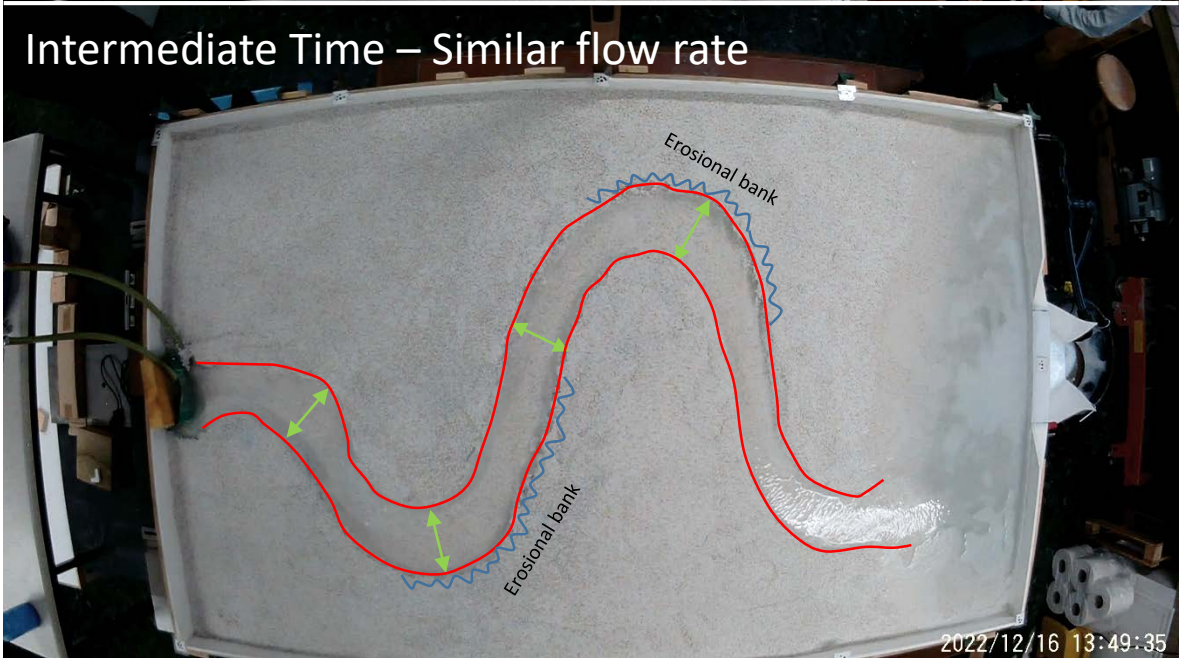
ANEXO VI

ESQUEMA RESUMEN DEL MODELO DE “EVOLUCIÓN CAUCE MEANDRIFORME
CON CRECIMIENTO MEANDROS”

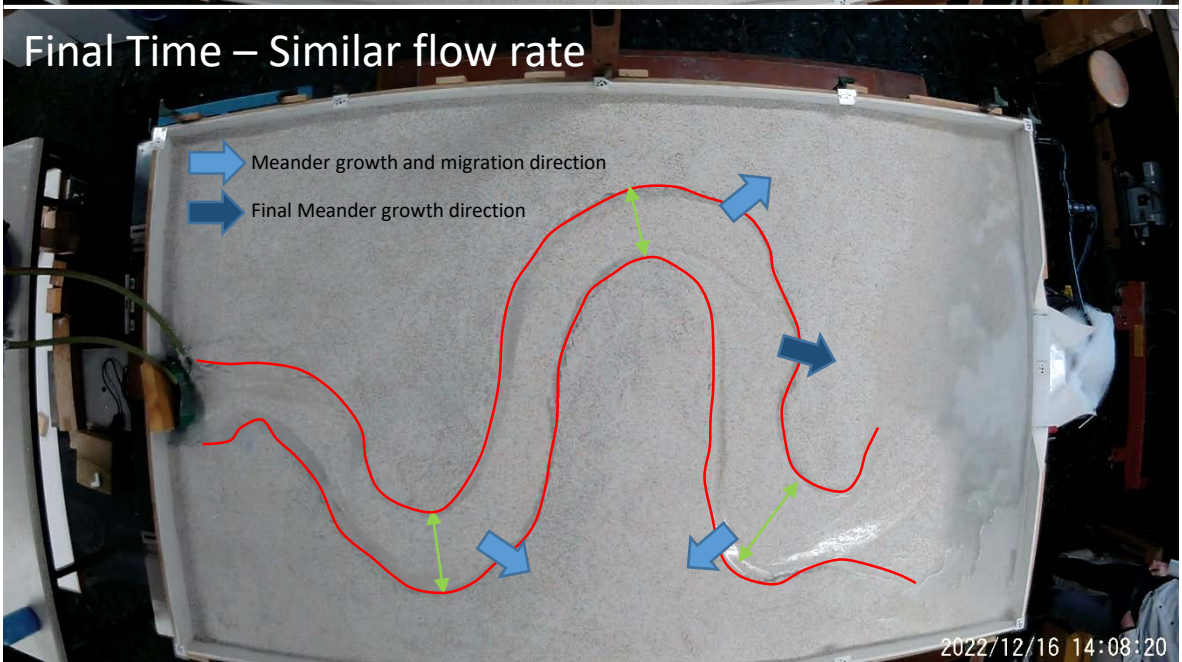
Initial Time



Intermediate Time – Similar flow rate



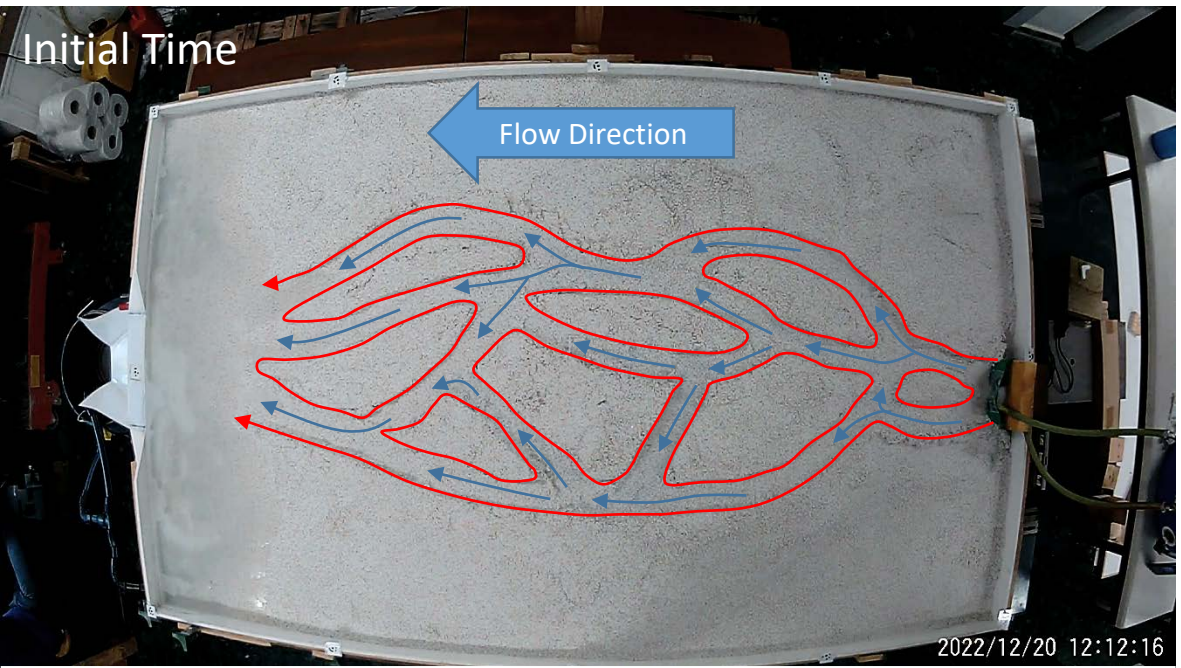
Final Time – Similar flow rate



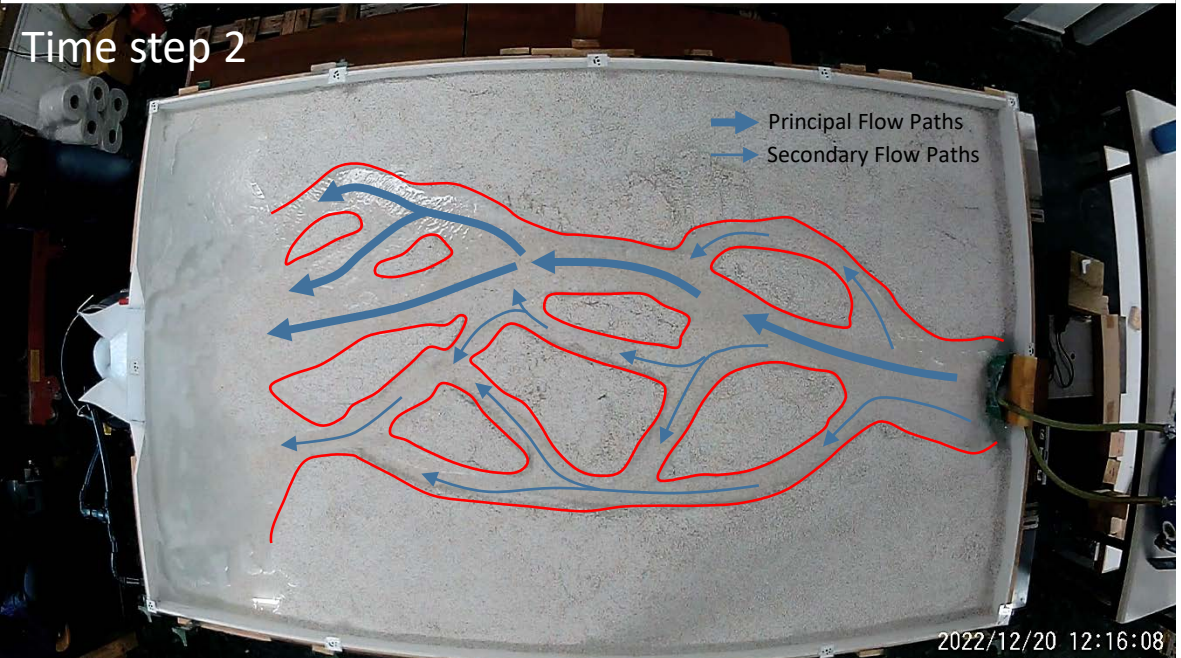
ANEXO VII

ESQUEMA RESUMEN DEL MODELO DE “EVOLUCIÓN CAUCE TRENZADO O
BRAIDED”

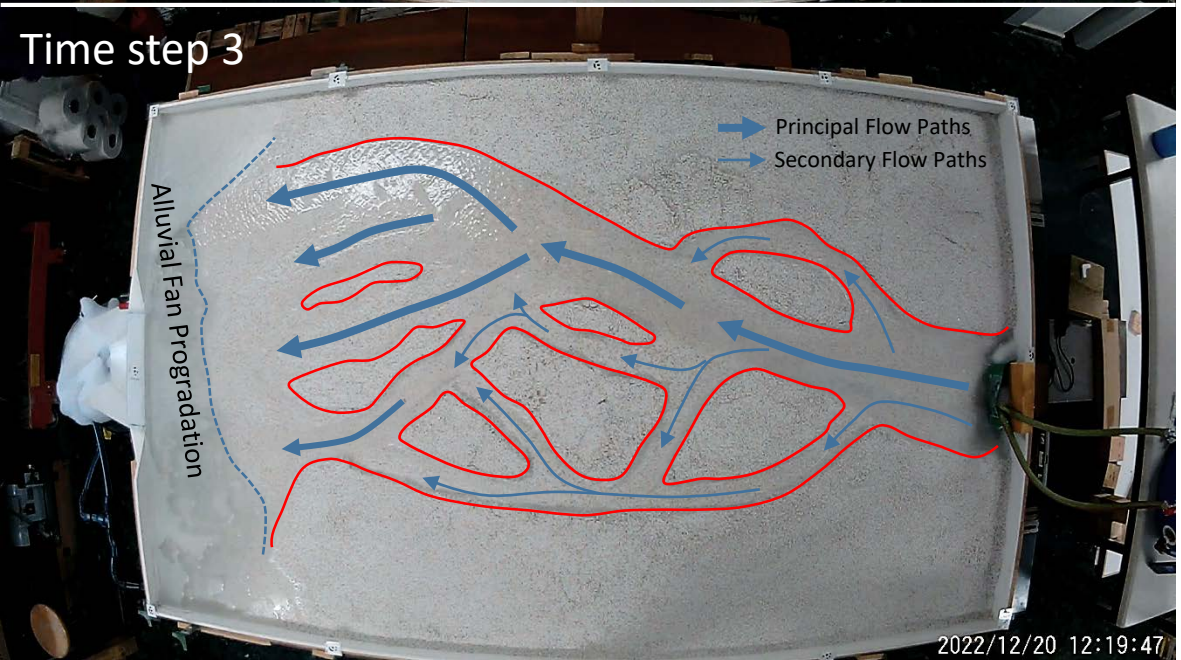
Initial Time



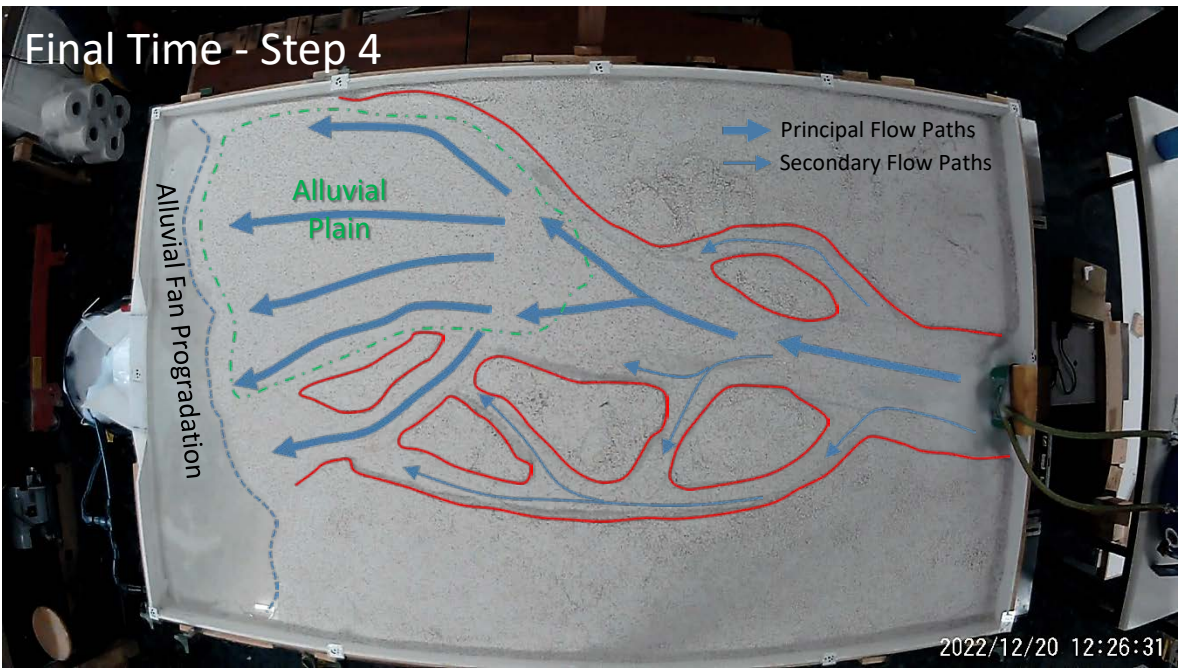
Time step 2



Time step 3



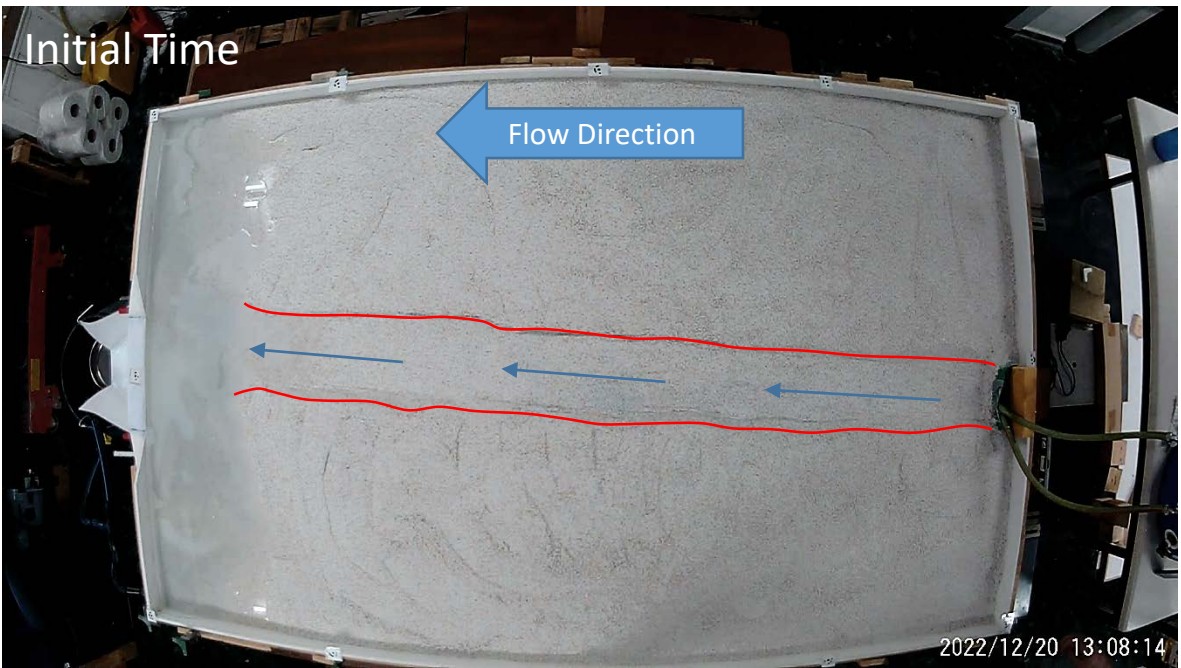
Final Time - Step 4



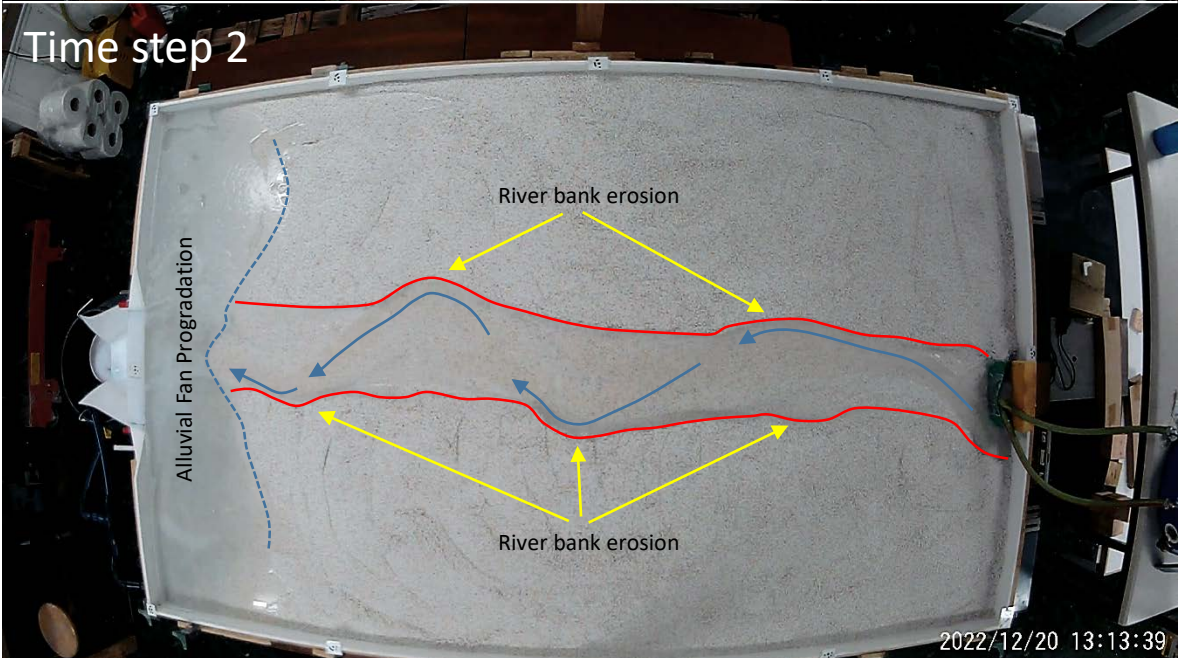
ANEXO VIII

ESQUEMA RESUMEN DEL MODELO DE “EVOLUCIÓN CAUCE RECTILÍNEO”

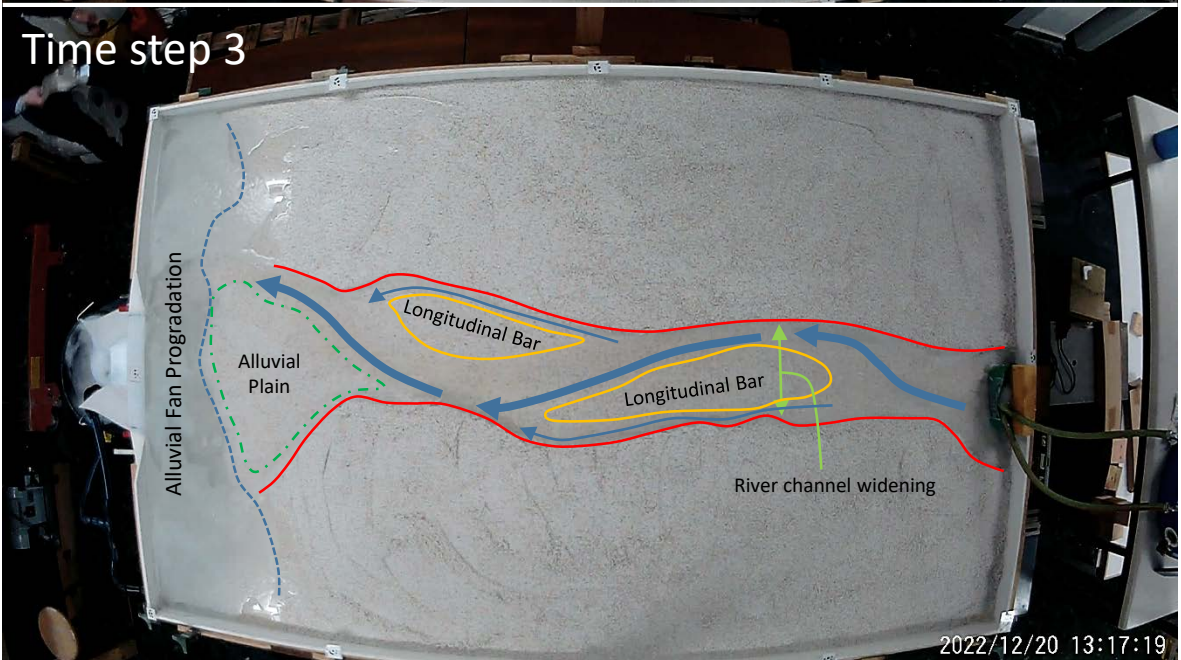
Initial Time



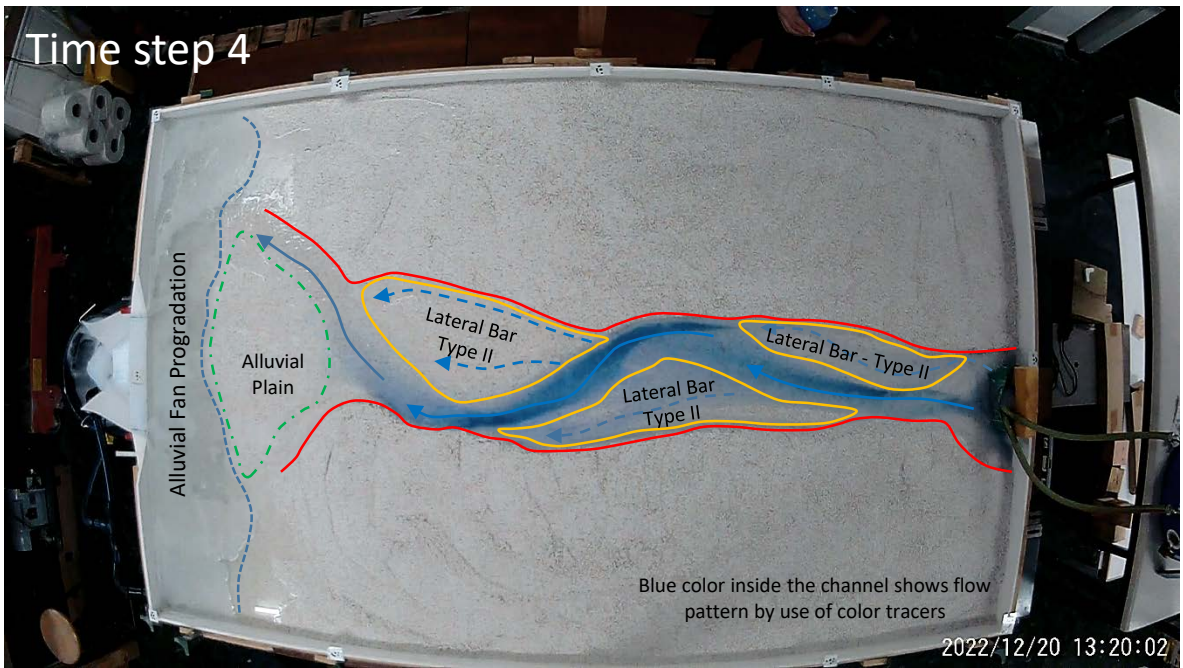
Time step 2



Time step 3



Time step 4



Final Time – Step 5

