

TÉCNICAS DE MEJORA DE CALIDAD DEL COLOR EN IMÁGENES DE EXTERIOR MEDIANTE COMPARACIÓN DE HISTOGRAMAS

ALFREDO GUTIÉRREZ CÁMARA

MÁSTER EN INVESTIGACIÓN EN INFORMÁTICA, FACULTAD DE INFORMÁTICA,
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



Trabajo Fin Máster en Ingeniería Informática para la Industria
Curso 2013-2014

Junio 2014

Calificación: **9** (SOBRESALIENTE)

Director:
Gonzalo Pajares Martinsanz

Autorización de Difusión

ALFREDO GUTIÉRREZ CÁMARA

Junio 2014

El abajo firmante, matriculado en el Máster en Investigación en Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: “TÉCNICAS DE MEJORA DE CALIDAD DEL COLOR EN IMÁGENES DE EXTERIOR MEDIANTE COMPARACIÓN DE HISTOGRAMAS”, realizado durante el curso académico 2013-2014 bajo la dirección de Gonzalo Pajares Martinsanz en el Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Resumen en castellano

En el presente trabajo se proponen dos métodos para la corrección del color en imágenes de exterior con el fin de mejorar su calidad.

Los métodos propuestos emplean el mismo procedimiento general: se selecciona una imagen de referencia con suficiente calidad, además se selecciona otra imagen de forma aleatoria del conjunto de imágenes a corregir, cuya calidad se considera insuficiente. A continuación se crea una tabla de correspondencias que establece una relación entre los histogramas de ambas, de forma que dicha tabla se puede emplear posteriormente para corregir cualquier imagen de la misma naturaleza que la de calidad insuficiente.

Para comparar la eficiencia emplearemos un tercer método que se diferencia de los anteriores en el hecho de que está basado en un algoritmo devorador, esto es basado en optimización local, con el que se obtienen los resultados pertinentes.

Se realiza un análisis comparativo sobre los resultados obtenidos por los tres métodos, no sólo en lo relativo a la calidad de la imagen resultante sino también en el tiempo de procesamiento, dado que se pretende que el método sea válido para procesamientos en tiempo real.

Los resultados obtenidos determinan que el método devorador obtiene resultados satisfactorios y que los otros métodos no lo mejoran, salvo casos puntuales. Se concluye presentando una serie de mejoras y alternativas para lograr resultados satisfactorios en los dos métodos propuestos.

Palabras clave

Calidad de imágenes; mejora del histograma; correspondencia de histogramas, corrección de imágenes; corrección de color

Abstract

In this work, we propose two methods for color correction in outdoor images in order to improve their quality.

The proposed methods employ the same general procedure: a reference image with sufficient quality is selected; in addition another image is randomly chosen from the set of images available to be corrected, whose quality is considered insufficient. We create a table of correspondences that establishes a relationship between the histograms of both images, so we can use it later to correct any image of the same nature that the one with insufficient quality.

To compare the efficiency of the proposed approaches we will use a third method that differs from the previous ones in that is based on a greedy algorithm, this is based on optimization.

A comparative analysis of the results obtained by the three methods is realized, not only in regards to the quality of the resulting image but also to the processing time, given that it is intended that the proposed methods must fulfill with the requirements of real time processing.

The results determine that the greedy method obtains satisfactory results and that the other methods do not improve them, except for specific cases. We conclude reporting some improvements and alternatives to achieve satisfactory results with both methods.

Keywords

Image quality; histogram enhancement; histogram correspondence; image correction; color correction

Índice de contenidos

Autorización de Difusión	iii
Resumen en castellano	v
Palabras clave.....	v
Abstract	vii
Keywords	vii
Índice de contenidos	ix
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Estado del arte	5
Capítulo 3. Descripción de los métodos de corrección.....	7
3.1 Aproximación mediante valores aleatorios.....	7
3.2 Semejanza de histogramas mediante interpolación	11
3.3 Métodos de evaluación	13
3.3.1 Línea Base.....	13
3.3.2 Técnicas de comparación de imágenes mediante distancias.....	15
Capítulo 4. Resultados	17
4.1 Mejora del color de las imágenes corregidas	17
4.1.1 Corrección de imágenes usando varias tablas de correspondencia.....	17
4.1.2 Corrección de imágenes semejantes	24
4.1.3 Corrección de imágenes empleando una imagen de referencia independiente.....	27
4.2 Tiempo de cómputo	29
4.2.1 Tiempo requerido para la construcción de la tabla de correspondencias.....	30
4.2.2 Tiempo empleado en la corrección de imágenes	31
Capítulo 5. Conclusiones	35
Capítulo 6. Trabajo Futuro.....	37
6.1 Mejoras propuestas para el método de aproximación mediante valores aleatorios	37
6.1.1 Modificar el tamaño de los bloques del histograma	37
6.1.2 Tomar un valor aleatorio fijo	39
6.2 Mejoras propuestas para el método de semejanza de histogramas	40
Bibliografía	43

Capítulo 1. Introducción

Al capturar una imagen se pueden producir diversos fenómenos adversos que afectan considerablemente la calidad del color, ya sea por los efectos de las lentes, por inexistencia de filtros apropiados para bloquear las radiaciones infrarrojas o ultravioletas, por un fallo en el proceso de guardado u otras adversidades. A veces una simple repetición de la imagen puede ser suficiente para solucionarlo; otras veces basta con usar algún tipo de software de tratamiento de imágenes para corregirla. No obstante no siempre se tiene la posibilidad de emplear estos recursos. En efecto, tal vez la fotografía fuese especial y no se puede repetir o el proceso se realiza en tiempo real, de suerte que no se tiene tiempo para realizar una corrección manual. Este es exactamente el problema que se plantea en nuestro caso, que sirve de base a la investigación desarrollada.

A continuación se reproduce un pequeño resumen de la investigación desarrollada, que sustenta los métodos propuestos en el presente trabajo, enmarcada dentro del proyecto RHEA (2014) y descrita en profundidad en Romeo y col. (2013).

Partiendo del objetivo de identificar malas hierbas en un campo sembrado se instala una cámara en un tractor agrícola, como se puede observar en las imágenes de la Figura 1.1. El sistema también debe identificar las líneas de cultivo para que el vehículo pueda seguir las. Para ello analiza una porción del terreno frente al mismo, marcada en rojo en la Figura 1.1 (b).

Figura 1.1 Imágenes del tractor con la cámara instalada



Debido a las condiciones atmosféricas adversas y cambiantes, donde la iluminación contiene una alta componente de radiación infra roja, y al continuo movimiento del tractor, la cámara, que se describe a continuación, debe ser lo más precisa posible.

La cámara empleada (SVS-VISTEK, 2014) se compone de tres partes físicas: un sensor CCD conectado a un computador y a una fuente de energía, lentes ópticas y filtro de corte de luz ultravioleta e infra roja (Schneider, 2014). Podemos ver las distintas componentes en la Figura 1.2.

Figura 1.2 Sensor CCD, lentes UV/IR y filtro de corte: (a) Elementos ópticos por separado. (b) Elementos ópticos una vez montados.



La cámara puede ser controlada externamente en tiempo real, permitiendo controlar:

- Tiempo de exposición.
- Control de ganancias para cada uno de los tres canales: rojo, verde y azul.
- Establecimiento de la ROI de la imagen.
- Resolución de la imagen.
- Información de la temperatura de trabajo de la cámara.

El procesamiento se lleva a cabo con LabView (National Instruments, 2014). Este sistema está específicamente diseñado para ejecuciones en tiempo real y es lo suficientemente robusto como para resistir los movimientos adversos producidos en el tractor como consecuencia

tanto de las vibraciones como de las irregularidades del terreno, así como de las inclemencias meteorológicas.

El sistema óptico, formado por una lente Schneider Cinegon 1,9/10-0901 (Cinegon, 2014), dispone de ajuste manual del enfoque y de bloqueo mecánico, que permiten compensar los movimientos del tractor, ya que éstos podrían desenfocar la imagen de forma aleatoria. Este sistema proporciona unas imágenes de trabajo con proyección de perspectiva que abarcan 3 metros de anchura, los necesarios para cubrir cuatro líneas de cultivo.

El sensor resulta ser muy sensible a la radiación del infra rojo cercano (NIR, Near Infra Red), y algo menos a la ultravioleta (UV). Como consecuencia de esto la radiación NIR contamina en exceso los tres canales espectrales (rojo, verde y azul), siendo más acusado el efecto en el rojo. Debido a esto se producen imágenes en tonos rojizos, resultando prácticamente imposible la separación de malas hierbas y líneas de cultivo con respecto al suelo.

Para evitar este efecto la cámara va equipada con un filtro de corte UV/IR (Schneider, 2014) que bloquea tanto la radiación NIR como la UV. Esto tiene como efecto secundario la aparición de un efecto *vignetting* debido a que también se bloquea parte de la entrada del canal rojo.

En la figura 1.3 (a) se muestra una imagen que ha sido capturada por el sistema de visión sin filtro de corte, mientras que la imagen de la figura 1.3 (b) se ha obtenido con el filtro de corte UV/IR reseñado previamente. Obsérvese, cómo en la primera imagen las plantas, que son verdes por naturaleza, llegan a ser indistinguibles con respecto al suelo debido al exceso de radiación infra roja. En la segunda imagen se observa la desaparición del efecto anterior, de suerte que las plantas verdes aparecen mejor diferenciadas con respecto al suelo, si bien su calidad es manifiestamente mejorable.

Figura 1.3 (a) Imagen de líneas de cultivo tomada sin filtro de corte UV/IR; (b) la misma imagen con filtro de bloqueo UV/IR.



Nuestro objetivo es encontrar un método para corregir las imágenes obtenidas con el filtro de corte, cuya calidad es todavía mejorable. Queremos hacerlo automáticamente y en el menor tiempo posible para cumplir los requisitos de tiempo real. Para ello tomaremos dos imágenes, una obtenida por nuestra cámara y otra con los requisitos de calidad considerados válidos. Con base en la imagen de calidad suficiente, se construye una tabla que relacione ambos histogramas, permitiendo corregir la imagen de baja calidad, y otras similares, con respecto a la de referencia. En resumen, cualquier imagen capturada bajo las mismas condiciones que la de baja calidad será corregida por similitud con la que ha servido de base para el establecimiento de correspondencia entre histogramas.

El trabajo se organiza de la siguiente forma. En el capítulo dos se incluye una descripción sobre el estado del arte en relación a métodos de corrección radiométrica. En el tres describimos los métodos desarrollados junto con otros algoritmos empleados a la hora de comparar imágenes. Continuaremos en los capítulos cuatro y cinco, primero comparando los resultados obtenidos con nuestros métodos frente a los logrados por un algoritmo voraz y, más tarde, realizando un análisis de dichos resultados. Por último, en el capítulo siete se concluye con algunas ideas para mejorar los métodos propuestos.

Capítulo 2. Estado del arte

Existen diversos procedimientos que podemos utilizar a la hora de corregir las imágenes, como por ejemplo aquellos basados en técnicas de lógica difusa (Liu, 2012; Raju y Nair, 2014) pero nos vamos a centrar en los que emplean la comparación de imágenes, esto es, en corregir una imagen de forma que el resultado sea similar a una imagen de referencia dada. Una forma de solucionar el problema sería emplear algún algoritmo desarrollado para la creación de imágenes panorámicas a partir de la concatenación de dos imágenes (Maojun y col, 2001; Zhang y Georganas, 2004). Estos métodos analizan regiones en las imágenes (una de referencia y otra a corregir) y las comparan para obtener una función de transformación.

En el ámbito de la visión estereoscópica existen técnicas conocidas como correspondencia de histogramas (Pajares y Cruz, 2007a, b), cuyo objetivo consiste en hacer que el histograma de una de las imágenes del par estereoscópico se asemeje al de la otra imagen. El procedimiento se basa en el análisis global del histograma, estableciendo las correspondencias en base a las probabilidades acumuladas, de forma que se asimilan valores de intensidad con similar acumulación en la distribución de las funciones de probabilidad. En este caso, la correspondencia entre histogramas se establece de forma global.

Nuestros métodos proponen la misma filosofía que los anteriores en el sentido de que establecen correspondencias entre histogramas, salvo que en lugar de establecer dichas correspondencias de forma global éstas se establecen de forma local por tramos del histograma, cuyo objetivo es conseguir el máximo grado de similitud entre ellos por su forma. Esta circunstancia permite analizar tramos del histograma similares, evitando comparaciones de intensidades muy alejadas entre sí por la globalidad considerada en los métodos referidos.

A la hora de comprobar los resultados de los métodos se emplean dos funciones de distancia que permiten comparar los resultados de la corrección entre la imagen original y la corregida.

Para comparar la diferencia de color entre imágenes se emplea una medida de la distancia euclídea debido a su sencillez y a que es la que mejor se aproxima a la percepción visual humana cuando se comparan imágenes sin deformación (Wang y col., 2005).

Además, como nuestros algoritmos se basan en la forma de los histogramas, se escoge también una distancia que permite compararlos entre sí por sus formas. Existen diversas distancias o funciones de similitud que pueden ser empleadas, como la media cuadrática o la Distancia de Bhattacharyya (Dubuisson, 2010), aunque al final nos decidimos por la distancia de transporte terrestre (Earth Mover's Distance, o EMD), derivada de la métrica de Wasserstein (Chaa y Sriharib, 2002; Rubner y col. 2000). La EMD es una medida de la distancia entre dos distribuciones probabilísticas sobre una región dada. En general sería necesario que los histogramas estuviesen normalizados, esto es que el área por debajo de la curva fuese 1, pero en nuestro caso, como todas las imágenes tienen el mismo tamaño, podemos simplificar el procedimiento y usar directamente los histogramas originales. De forma intuitiva, si los histogramas se ven como montones de tierra, la EMD sería el coste mínimo de transformar un montón en el otro.

Capítulo 3. Descripción de los métodos de corrección

A partir de este punto llamaremos primer histograma al correspondiente a la imagen original, de baja calidad, y segundo histograma al que se obtiene de la imagen usada como referencia, que posee una calidad de color suficiente. Además hay que tener en cuenta que estudiaremos cada canal por separado por lo que el proceso que se describe a continuación se realiza en tres ocasiones.

Los dos métodos que se describen seguidamente se basan en el mismo principio: dividir los histogramas en bloques, según se especifica en las secciones subsiguientes, para poder cotejarlos en el menor tiempo posible. Cada pareja de bloques, uno del primer histograma y su homólogo del segundo, se comparan obteniéndose uno o varios valores que relacionan los dos segmentos de histograma. Con estos datos, es decir con los diferentes valores obtenidos por bloque, se crea una tabla, a la que llamaremos tabla de correspondencias, que se emplea para corregir nuevas imágenes capturadas por el sensor. En definitiva, se trata de métodos de ajuste radiométrico con base en dos imágenes, una de referencia y otra de baja calidad, que permiten obtener una tabla de transformación a partir de los dos histogramas. Como se ha mencionado previamente esta forma de correspondencia se establece por bloques de forma local, frente a técnicas basadas en el análisis global de un histograma frente a otro.

En la sección 3.1 se describe el primero de los métodos, denominado aproximación mediante valores aleatorios por su forma de emplear los valores de la tabla de correspondencias a la hora de corregir. En la sección 3.2 se describe el segundo algoritmo, cuya base es la semejanza de histogramas mediante interpolación. Por último, en la sección 3.3, se describen los métodos de evaluación para verificar el comportamiento de los anteriores.

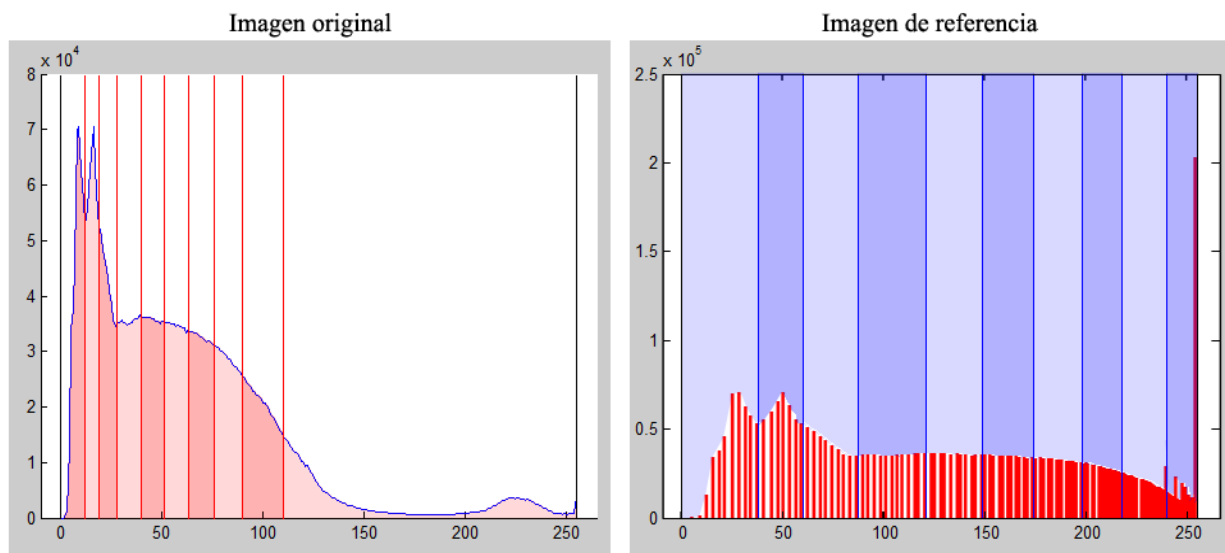
3.1 Aproximación mediante valores aleatorios

Comenzamos tomando los histogramas de las dos imágenes mencionadas y dividiéndolos en bloques con, aproximadamente, el mismo número de píxeles en cada uno. En caso de que uno

de los histogramas tenga menos bloques se añaden bloques adicionales, duplicando el bloque final las veces que sean necesarias.

Resulta obvio mencionar que dependiendo de la forma del histograma el tamaño de los bloques es diferente, en cuanto a cobertura de rango de intensidad se refiere, debido a la premisa de considerar bloques de tamaño tal que contengan el mismo número de píxeles. La figura 3.1 muestra la división de dos histogramas en diez bloques. En la imagen de la izquierda puede apreciarse claramente los diferentes tamaños de los bloques, siendo más estrechos en la parte del histograma con mayor frecuencia de valores de intensidad. Los histogramas se corresponden con la distribución de los niveles de intensidad correspondientes al canal rojo de las imágenes mostradas en las figuras A.1 (a) y A.1 (b), respectivamente.

Figura 3.1 Ejemplo de dos histogramas divididos en 10 bloques



En caso de emplear una imagen en la que las barras del histograma se hayan separado debido a la aplicación de algún método de corrección el segundo histograma mostrará una distribución con abundantes huecos, fruto de la redistribución de los niveles de intensidad, como se puede apreciar claramente en las figuras 3.2 y 3.3. Es por ello que cuanto menor tamaño tengan los bloques empleados más precisa será la transformación del histograma, obteniéndose

mayor similitud entre las distribuciones de intensidades de la imagen corregida y de la de referencia.

Figura 3.2 Histograma original (a) frente al de la imagen corregida digitalmente (b)

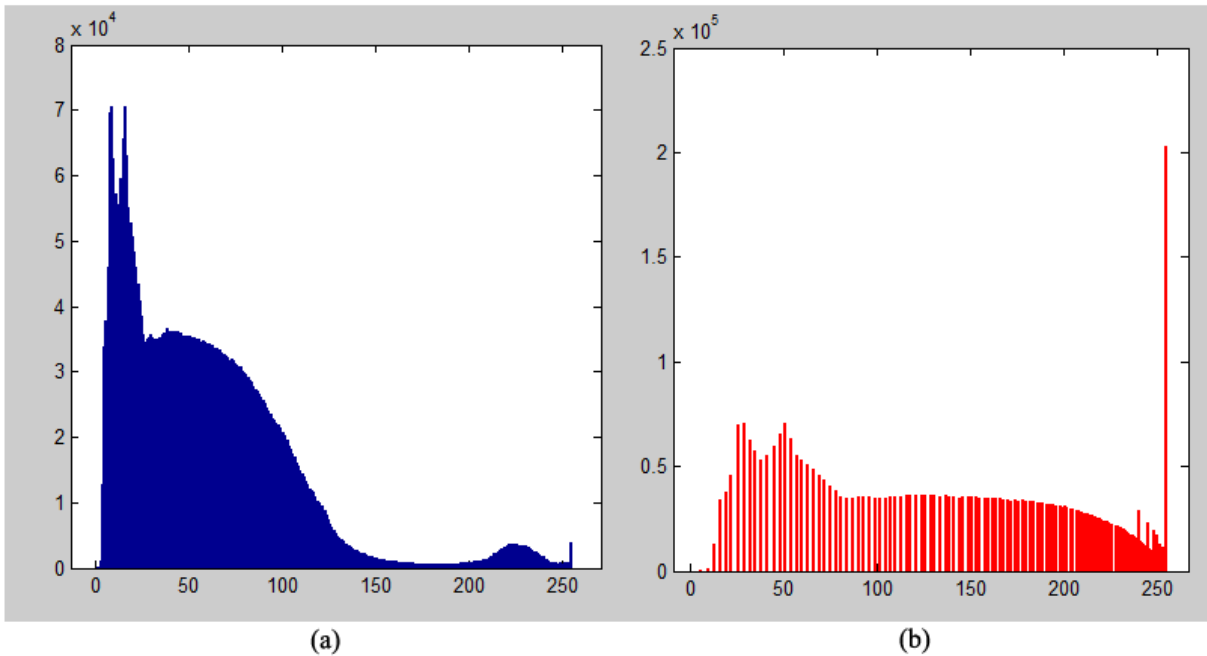
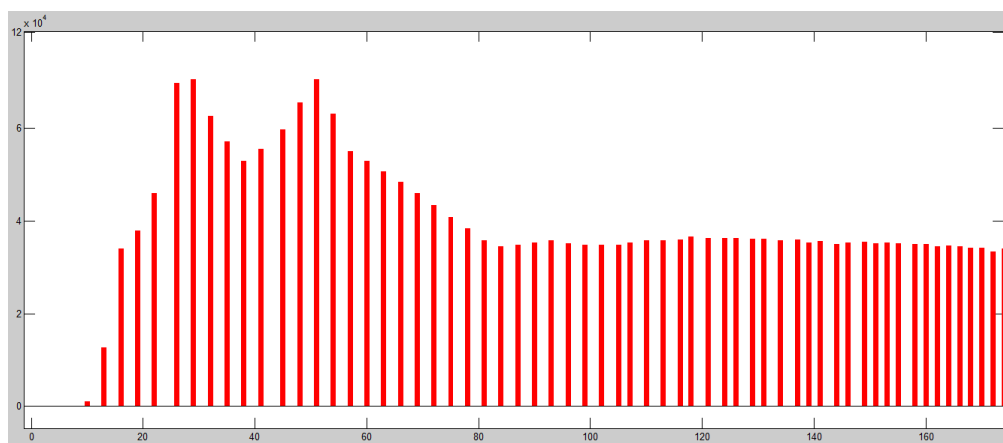


Figura 3.3 Detalle del histograma de la imagen corregida

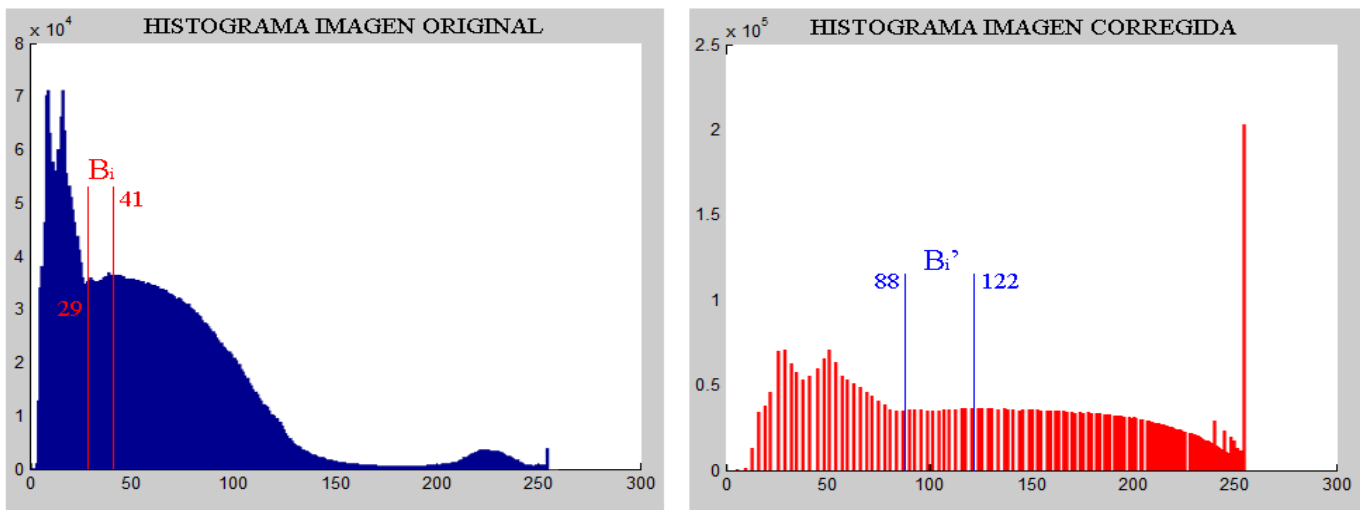


Una vez tenemos los bloques correspondientes a los dos histogramas pasaremos a comparar dichos bloques por parejas, seleccionando uno del primer histograma y otro, con la

misma posición, del segundo. Construiremos la tabla de correspondencias asignando a cada valor del primer bloque los extremos del segundo. Por ejemplo, si $B_i = \{b_n, b_{n+1}, \dots, b_{n+m}\}$ es un bloque del primer histograma y $B'_i = \{b'_p, b'_{p+1}, \dots, b'_{p+q}\}$ es su correspondiente en el segundo, en la tabla de correspondencias a los valores $v_n, v_{n+1}, \dots, v_{n+m}$ les asignaremos b'_p y b'_{p+q} .

Esto se puede ver más claramente en la Figura 3.4, donde al bloque B_i del histograma de la imagen original le corresponde el B'_i en la corregida, con valores extremos de intensidad, en los correspondientes intervalos, de 29-41 y 88-122. En la tabla inferior se refleja esta circunstancia, de suerte que los valores de intensidad comprendidos en el primer rango se transforman en los valores correspondientes del segundo a la hora de corregir.

Figura 3.4 Ejemplo de la construcción de la tabla de correspondencias



$v = 0, 1, \dots$	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	...255
	61	61	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	122	122	122	
	88	88	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	150	150	150	

Se repite el proceso para cada canal de color existente en la imagen, obteniéndose de esta forma tres tablas de transformación, una por canal.

Una vez construida la tabla podemos utilizarla para corregir imágenes nuevas, diferentes a la utilizada durante el proceso de construcción de a tabla. Para ello se procede a explorar píxel

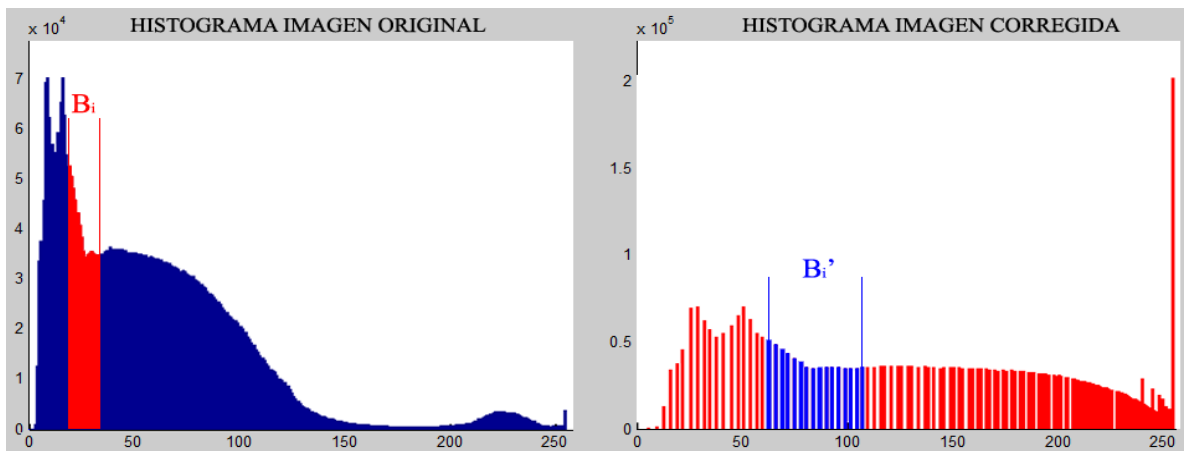
a píxel la imagen a corregir, una vez para cada canal de color, como se ha mencionado previamente; y sustituimos cada valor por uno aleatorio obtenido de la siguiente forma:

Sea $T=[T_{nm}]$, con $n=1,2$; $0 \leq m \leq 255$, la tabla de correspondencias y v el valor del píxel (i,j) de la imagen a corregir. Entonces el valor del píxel (i,j) en la imagen corregida será $v_2 \sim U(T_{1v}, T_{2v})$, siendo $U(a,b)$ una distribución uniforme continua de parámetros a y b . Continuando con el ejemplo de la Figura 3.4, si el píxel que queremos corregir tiene valor $v = 40$ entonces al corregirlo le correspondería $v_2 \sim U(88,122) = 88 + 34 * \text{rand}()$.

3.2 Semejanza de histogramas mediante interpolación

La segunda técnica empleada comienza como la anterior, dividiendo los histogramas en bloques con un número similar de píxeles por bloque. En la figura 3.5 se muestra un ejemplo de dos bloques homólogos. Se puede ver que, aunque ambos abarcan el mismo número de píxeles, no tienen porqué tener la misma anchura o los mismos límites.

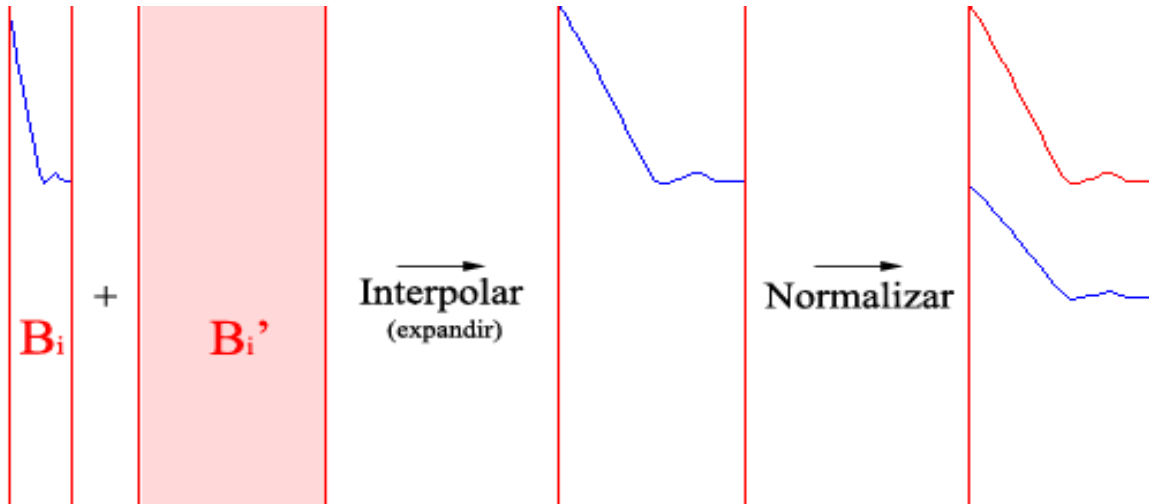
Figura 3.5 Ejemplo de un bloque en la imagen a corregir y su homólogo en la de referencia



De nuevo la comparación de bloques se realiza dos a dos, sólo que en lugar de asignar los mismos valores a todos los elementos del primer bloque lo que se hace es expandir o contraer la porción del histograma de la imagen original para ajustarla a la longitud del bloque de la imagen

de referencia mediante interpolación. Por último normalizamos la nueva curva para que el área por debajo de la misma se aproxime lo máximo posible al valor del área definida por el tramo correspondiente de la función original.

Figura 3.6 Ejemplo del proceso usado para modificar el histograma



Sea h el histograma original y h_m la curva obtenida al contraer y expandir cada uno de los bloques. La matriz de correspondencias se obtendrá al comparar los histogramas acumulados de h y h_m , denotados, respectivamente, por H_c y H_{c_m} .

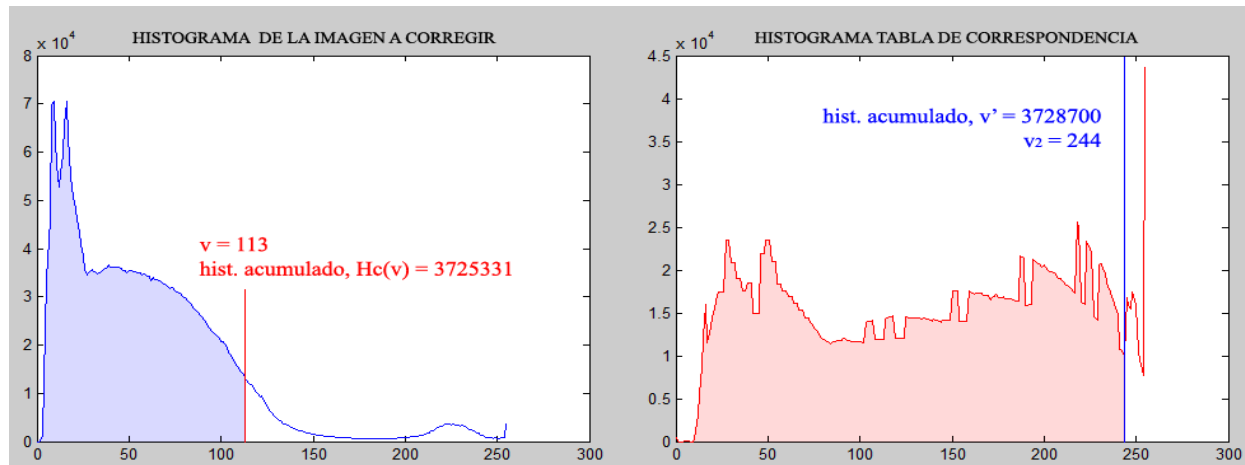
$$H_c = \left\{ h^i \mid h^i = \sum_{j=0}^i h^j, i \in \{0, 1, \dots, 255\} \right\}$$

$$H_{c_m} = \left\{ h_m^i \mid h_m^i = \sum_{j=0}^i h_m^j, i \in \{0, 1, \dots, 255\} \right\}$$

Por tanto, se dispone de los histogramas acumulados H_c y H_{c_m} , que en realidad representan dos conjuntos de 256 elementos. Para cada valor $v \in \{0, 1, \dots, 255\}$ en H_c tomamos el correspondiente valor $H_c(v)$ y buscamos $v' = \max \{n \in H_{c_m} \mid n \leq H_c(v)\}$. De esta forma, según la tabla de correspondencia, al valor v le corresponderá un nuevo valor, que se obtiene de la siguiente manera: $v_2 = x$ tal que $v' = H_{c_m}(x)$. Según el procedimiento de asignación

mencionado, en el ejemplo de la figura 3.7 al valor de intensidad 113 de la imagen sin corregir le corresponde el valor 244 en la corregida.

Figura 3.7 Ejemplo de la corrección de un valor



3.3 Métodos de evaluación

Con el fin de evaluar los resultados obtenidos mediante los dos métodos propuestos en el presente trabajo, se utilizan dos métodos de comparación, que se identifican como sigue:

- (a) Línea Base, descrito en la sección 3.3.1, basado en la selección de óptimos locales.
- (b) Distancias, descritas en la sección 3.3.2, cuya finalidad es determinar la semejanza entre dos imágenes.

3.3.1 Línea Base

Tomamos como línea base un algoritmo devorador, entendiendo como tal aquel que en cada paso local escoge la solución óptima. En este caso, un paso local realiza la corrección de un único nivel de intensidad. Para ello selecciona, en la imagen original, todos los píxeles con un mismo valor, y toma, como solución óptima, el nivel de intensidad de los píxeles homólogos en la imagen de referencia.

Más concretamente recorreremos las dos imágenes píxel a píxel y para cada uno de los posibles valores, comprendidos en el rango de 0 a 255, creamos un conjunto de valores correspondientes. Por ejemplo, considerando uno cualquiera de los canales de color de la imagen: si p_n^1 son los píxeles de la primera imagen que tienen valor n , es decir $p_n^1 = \{p_{ij} \in 1^a \text{Im} \mid \text{valor}(p_{ij}) = n\}$, y sus correspondientes en la de referencia, $p'_n = \{p'_{ij} \in 2^a \text{Im} \mid p_{ij} \in p_n^1\}$, tienen valor n' entonces $v_n = n'$.

En general todas las correspondencias son únicas, es decir que $\forall i,j$ tal que $p_{ij} \in p_n^1 \Rightarrow \text{valor}(p'_{ij}) = n'$. Esto se debe principalmente a que:

- Los errores cometidos son uniformes. Lo que quiere decir que si la imagen tiene un fallo en el píxel (i,j) también lo tiene en el resto de píxeles con el mismo valor.
- Al corregir una imagen de forma manual el cambio de color se aplica a todo los píxeles por igual, sin tener en cuenta otro criterio.

De todas formas pueden ocurrir situaciones en las que no se consiga encontrar una solución óptima usando el proceso anterior, por ello, con el fin de mejorar el comportamiento del algoritmo, añadimos un par de consideraciones adicionales:

- Si uno de los supuestos anteriores no se cumple, es decir si los fallos o la corrección no son uniformes, puede ocurrir que $v_n = \{n'_1, n'_2, \dots, n'_m\}$.

1ra Imagen				→	2da Imagen			
35	0	154	10		86	1	175	10
150	169	23	35		154	169	23	95
135	147	111	76		200	147	121	76
120	98	35	21		129	104	35	23
					$v_{35} = \{35, 86, 95\}$			

En este caso calculamos la media y la desviación típica, obteniendo el nuevo valor de forma aleatoria como sigue:

$$\mu_{35} = \frac{\sum v_{35}}{|v_{35}|} = \frac{35+86+95}{3} = \frac{216}{3} = 72$$

$$\sigma_{35}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{|v_{35}|} (v_{35}^{(i)} - \mu_{35})^2}{|v_{35}|} = 698 \Rightarrow \sigma_{35} = 26,42$$

$v_2 = x$, siendo $x \sim N(72, 26,42)$

- También puede ocurrir que existan valores que no están representados en la imagen, es decir, si h es la función del histograma, que $\exists v \mid h(v) = 0$.

En este caso aproximamos tomando valores medios entre los conocidos.

	-	4	6	-	-	12	23
$v =$	0	1	2	3	4	5	6
	2	4	6	8	10	12	23

3.3.2 Técnicas de comparación de imágenes mediante distancias

Con el fin de comparar los resultados obtenidos por los métodos desarrollados empleamos dos funciones de distancia.

Con la primera consideramos cada píxel como un punto en el espacio, es decir (rojo, verde, azul) $\approx (x, y, z)$, y calculamos la distancia euclídea entre cada par de píxeles correspondientes: $d(p_{ij}, p'_{ij}) = \sqrt{(x_{ij} - x'_{ij})^2 + (y_{ij} - y'_{ij})^2 + (z_{ij} - z'_{ij})^2}$, siendo $p_{ij} = (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ un píxel de la imagen original y $p'_{ij} = (x'_{ij}, y'_{ij}, z'_{ij})$ el homólogo en la corregida. Para cada imagen se calcula un valor que representa la media de todas las distancias calculadas.

El segundo método toma como punto de partida los histogramas, en escala de grises, de las dos imágenes y devuelve la distancia EMD entre ambas. Esta distancia representa el mínimo coste que conllevaría el hecho de transformar un histograma en el otro. En el caso de un dominio discreto, como el nuestro, la mencionada distancia se calcula de la siguiente forma: $d_0=0$; $d_i=d_{i-1}+h(i-1) - h'(i-1)$, $\forall i \in \{1,\dots,255\}$, siendo h y h' los dos histogramas que se comparan, y $EMD = \sum_{i=0}^{255} |d_i|$.

Esta medida de distancia es más eficiente que la anterior a la hora de comparar la similitud de los histogramas, lo cual es importante en nuestro caso, ya que trabajamos con los propios histogramas.

Sin embargo también tiene un problema, y es que los resultados dependen enormemente de la imagen objetivo. Esto se debe a que dicha imagen suele poseer muchos píxeles con valor 255, lo que crea un pico en la función. De esta forma puede ocurrir que la distancia entre la imagen original y la imagen objetivo sea tan grande que cualquier mejora lograda represente un porcentaje relativamente bajo, aunque visualmente el resultado sea bueno.

Capítulo 4. Resultados

Se identificará al método denominado “Aproximación mediante valores aleatorios” como Método 1, y al denominado “Semejanza de histogramas mediante interpolación” como Método 2. De igual forma identificaremos la distancia euclídea como Distancia 1 y la distancia EMD como Distancia 2.

El objetivo de este capítulo consiste en analizar los resultados obtenidos con los dos métodos propuestos en este trabajo, a saber Método 1 y Método 2. Dicho análisis se realiza de forma comparativa con los métodos de evaluación identificados previamente como Línea Base y Distancias.

Como paso previo a la realización de las pruebas escogimos diez imágenes distintas entre todas las disponibles. Además, corregimos manualmente cada una de estas imágenes para disponer de la correspondiente imagen de referencia a la hora de calcular las distancias (Apéndice A). La corrección se realizó de forma manual mediante manipulación interactiva del histograma mediante el programa MATLAB (2014).

En cada prueba se corrigen las mismas diez imágenes y, cuando es necesario, se construye una tabla de correspondencias entre una de las imágenes y su variante corregida. De esta forma, en lo que se sigue, cuando se habla de “Pareja 1” significa que usamos la Imagen 1 y la Imagen 1 Corregida para generar la tabla de correspondencias.

4.1 Mejora del color de las imágenes corregidas

4.1.1 Corrección de imágenes usando varias tablas de correspondencia

La primera prueba se realiza tomando cuatro parejas de imágenes distintas y construyendo sus respectivas tablas de correspondencia. Con cada una de estas tablas se corrigen las diez imágenes originales, teniendo en cuenta que las imágenes 1, 3, 6 y 8 se corresponden con las parejas empleadas para construir las tablas.

A continuación se calcula la distancia entre la imagen de referencia, corregida manualmente según se ha indicado previamente, que constituye el objetivo del proceso, y la original. Simultáneamente se calcula también su distancia respecto a la imagen obtenida aplicando los métodos de corrección propuestos en este trabajo. Por último, se comparan sendos valores, traduciendo la diferencia entre ambos en un valor numérico que representa el porcentaje de mejora de la obtenida respecto a la original.

En la Tabla 4.1 podemos observar estos resultados para cada una de las parejas escogidas y empleando la Distancia 1 como método de comparación.

Tabla 4.1 Porcentaje de mejora al corregir imágenes usando la Distancia 1

Pareja 1		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5
	Original	0,5397	0,5072	0,3928	0,5137	0,4260
	Línea Base	100	98,4	80,6	90,0	89,8
	Método 1	98,3	97,8	79,9	89,7	90,3
	Método 2	99,0	86,7	20,5	80,5	46,7
		Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10
	Original	0,5249	0,5123	0,5019	0,4499	0,5013
	Línea Base	94,7	80,3	53,7	80,1	71,1
	Método 1	93,2	84,1	45,9	44,3	59,9
	Método 2	93,2	84,1	45,9	44,3	59,9
Pareja 3		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5
	Original	0,5397	0,5072	0,3928	0,5137	0,4260
	Línea Base	81,8	83,0	100	91,4	90,4
	Método 1	81,1	82,4	97,5	90,8	89,8
	Método 2	44,0	52,1	99,3	58,5	72,8
		Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10
	Original	0,5249	0,5123	0,5019	0,4499	0,5013
	Línea Base	77,7	61,9	67,5	97,0	87,4
	Método 1	77,1	61,3	66,9	96,4	86,8
	Método 2	44,2	25,9	82,3	77,5	73,3

		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5
		Pareja 6	Original	0,5397	0,5072	0,3928
Línea Base	96,0		94,5	78,0	86,1	86,9
Método 1	96,0		94,6	77,1	86,1	87,0
Método 2	93,5		86,9	22,4	79,2	48,7
Imagen6	Imagen7		Imagen8	Imagen9	Imagen10	
Original	0,5249		0,5123	0,5019	0,4499	0,5013
Línea Base	100		85,6	52,2	76,9	68,2
Método 1	98,2		84,8	52,0	76,9	68,2
Método 2	99,3	80,7	45,3	43,5	58,0	

		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5
		Pareja 8	Original	0,5397	0,5072	0,3928
Línea Base	43,1		42,9	55,7	49,6	47,5
Método 1	43,1		43,0	56,4	49,6	48,2
Método 2	52,6		59,5	76,7	66,8	64,4
Imagen6	Imagen7		Imagen8	Imagen9	Imagen10	
Original	0,5249		0,5123	0,5019	0,4499	0,5013
Línea Base	39,7		23,5	100	57,3	73,4
Método 1	39,8		23,4	97,2	58,0	73,9
Método 2	51,0	35,9	99,0	94,5	85,4	

En la Tabla 4.2 realizamos el mismo análisis que en la Tabla 4.1 sólo que empleando esta vez la distancia que compara los histogramas:

Tabla 4.2 Porcentaje de mejora al corregir imágenes usando la Distancia 2

		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5
		Pareja 1	Original	337 xe06	317 xe06	247 xe06
Línea Base	100,0		98,5	81,5	90,1	90,7
Método 1	99,4		98,7	80,6	90,2	90,8
Método 2	99,2		87,1	22,0	81,3	50,0
Imagen6	Imagen7		Imagen8	Imagen9	Imagen10	
Original	329 xe06		321 xe06	318 xe06	284 xe06	316 xe06
Línea Base	96,1		81,6	54,8	80,3	71,3
Método 1	95,4		80,9	54,1	80,3	71,3
Método 2	94,4	85,2	49,7	49,1	63,8	

		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5	
Pareja 3	Original	337 xe06	317 xe06	247 xe06	323 xe06	268 xe06	
	Línea Base	82,6	83,6	100,0	91,6	91,1	
	Método 1	82,3	83,4	99,2	91,4	91,1	
	Método 2	44,7	53,1	99,4	60,3	76,0	
			Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10
	Original	329 xe06	321 xe06	318 xe06	284 xe06	316 xe06	
	Línea Base	79,2	63,8	67,6	97,5	87,5	
	Método 1	79,0	63,5	67,2	97,7	87,2	
Método 2	45,4	26,6	85,0	82,0	74,9		

		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5	
Pareja 6	Original	337 xe06	317 xe06	247 xe06	323 xe06	268 xe06	
	Línea Base	96,1	94,6	78,0	86,3	87,1	
	Método 1	96,5	95,0	77,5	86,4	87,3	
	Método 2	94,7	88,1	24,4	80,9	51,8	
			Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10
	Original	329 xe06	321 xe06	318 xe06	284 xe06	316 xe06	
	Línea Base	100,0	85,8	52,4	76,9	68,3	
	Método 1	99,3	85,1	52,2	77,0	68,4	
	Método 2	99,6	82,7	50,4	49,7	62,2	

		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5	
Pareja 8	Original	337 xe06	317 xe06	247 xe06	323 xe06	268 xe06	
	Línea Base	47,1	46,3	56,3	51,4	50,7	
	Método 1	47,3	46,5	57,7	51,7	51,5	
	Método 2	55,1	63,2	79,9	70,0	68,1	
			Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10
	Original	329 xe06	321 xe06	318 xe06	284 xe06	316 xe06	
	Línea Base	45,4	30,4	100,0	58,0	73,6	
	Método 1	45,8	30,5	98,6	58,7	74,3	
	Método 2	54,4	37,8	99,1	95,2	86,1	

El principal hecho que se puede destacar de los datos de las Tablas 4.1 y 4.2 es que, salvo casos puntuales, el Método 1 mejora las imágenes consiguiendo una calidad semejante a la obtenida por el método identificado como Línea Base. Por otra parte, el Método 2 no consigue aproximarse, y mucho menos superar, la calidad de los otros métodos prácticamente en casi ninguna situación.

Resulta fácil verificar esta afirmación a partir de los resultados mostrados en las gráficas de las Figuras 4.1 y 4.2, que representan una síntesis de los resultados mostrados en las tablas 4.1 y 4.2, respectivamente. En las mencionadas gráficas se compara el porcentaje medio de mejora de cada uno de los métodos, tomando el porcentaje de mejora obtenido para cada imagen con cada una de las cuatro parejas posibles.

Figura 4.1 Media del porcentaje de mejora obtenido con las cuatro correcciones usando la distancia euclídea

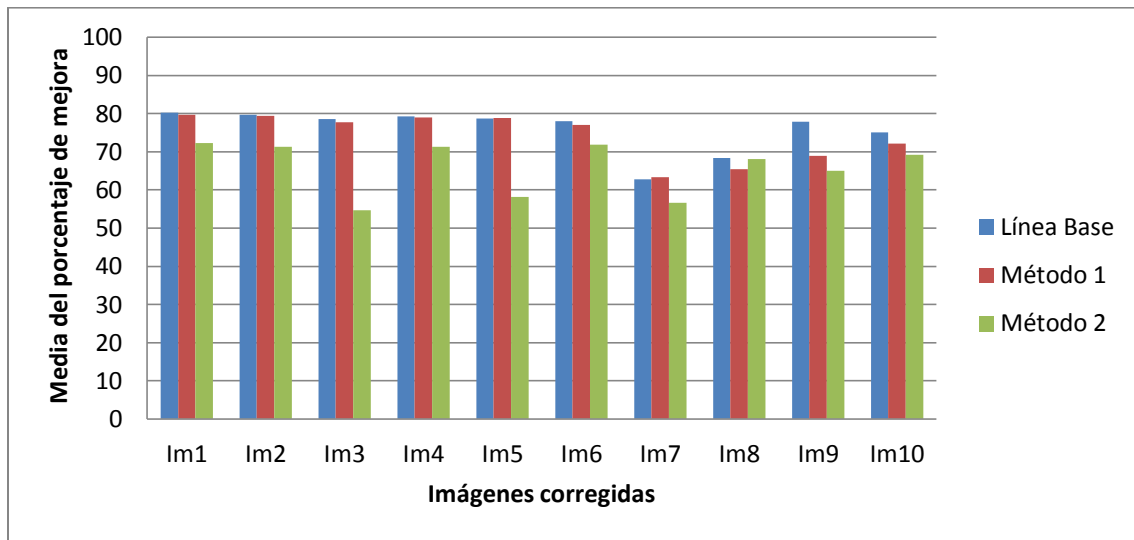
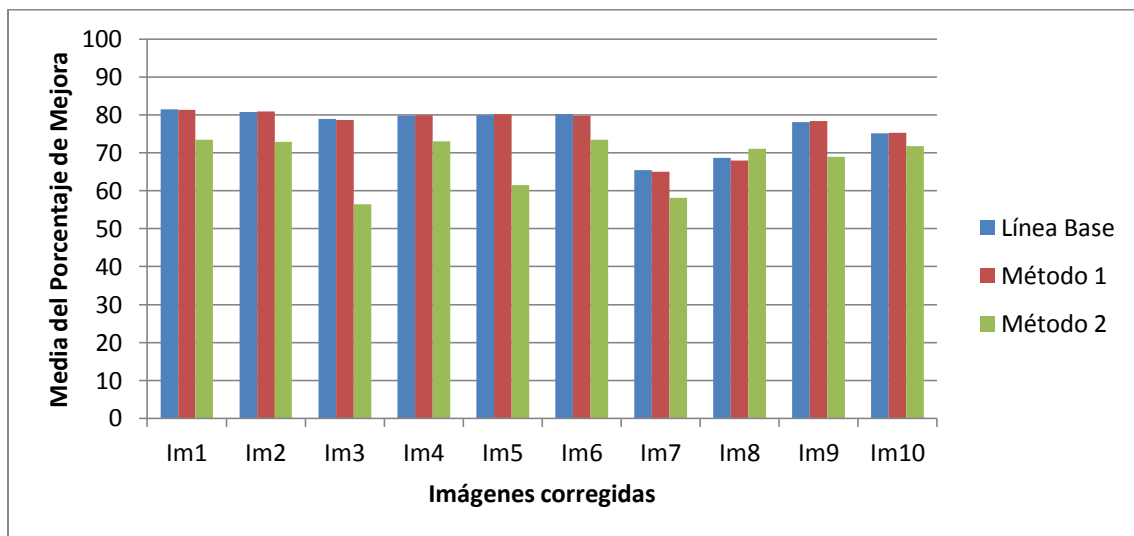


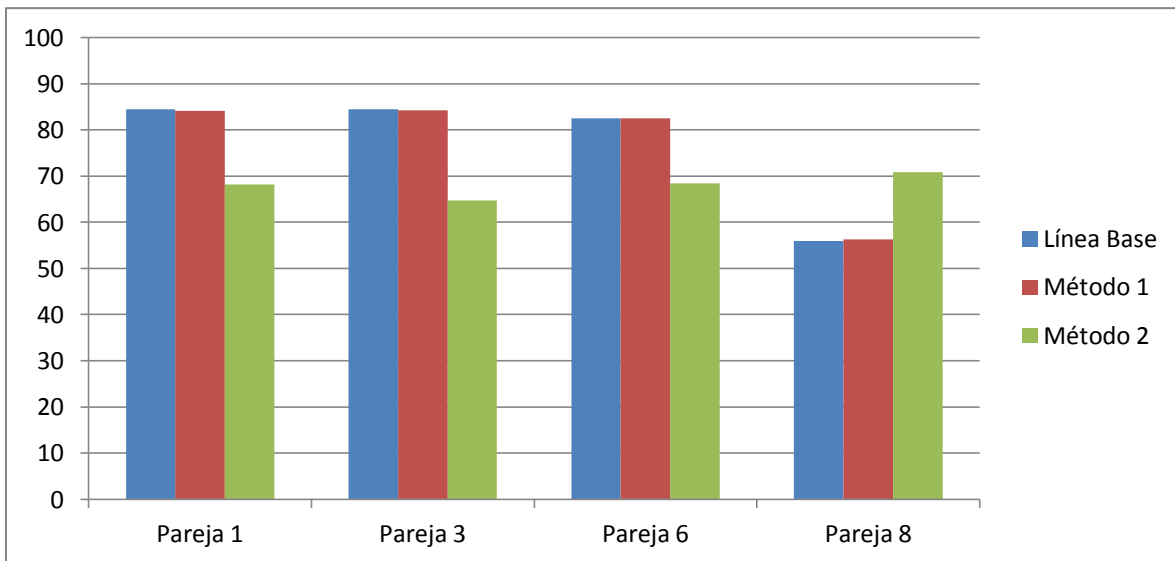
Figura 4.2 Media del porcentaje de mejora obtenido con las cuatro correcciones usando la distancia EMD



En las figuras C.1, C.3 y C.5 del Apéndice C se pueden observar los resultados de las correcciones llevadas a cabo sobre algunas de las imágenes seleccionadas a tal efecto.

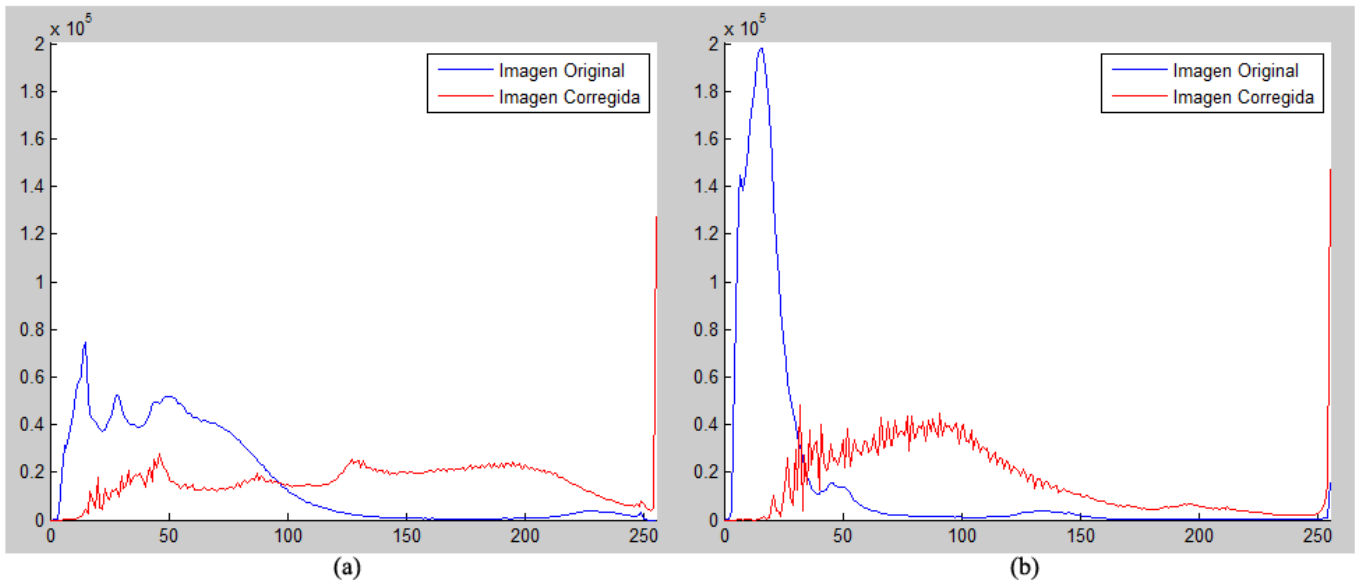
Se ha mencionado previamente que los resultados obtenidos por el Método 2 resultan ser ligeramente peores que los obtenidos con el Método 1; si bien existe un caso significativo en el que este comportamiento se invierte, esto es cuando se toma la Pareja 8 para construir la tabla de correspondencias. Podemos apreciarlo mejor en la Figura 4.3, que compara el porcentaje medio de mejora obtenido al corregir las diez imágenes con cada una de las parejas.

Figura 4.3 Media de la mejora obtenida según la pareja de imágenes usada en la construcción de la tabla de correspondencias



Si comprobamos las imágenes sobre las que se ha aplicado la corrección (Apéndice A) veremos que la Pareja 8, Figuras A.8 (a) y A.8 (b), es, junto a las Parejas 9 y 10, la que muestra más diferencia de color entre la imagen original y la corregida, usada como referencia. En la Figura 4.4 podemos ver la diferencia existente entre los histogramas y cómo el de la Imagen 8 Original, Figura 4.4 (b), tiene el 90% de sus valores agrupados en el intervalo [0,43].

Figura 4.4 Diferencia entre los histogramas, en escala de grises, de las imágenes original y la corregida para las Parejas 1 (a) y 8 (b).



Esto afecta especialmente a la Línea Base y al Método 1. A la primera porque ya no se produce una corrección uniforme y tiene que recurrir al sistema aleatorio, menos preciso a la hora de asignar valores, explicado en 3.3.1. Al segundo porque los bloques correspondientes al histograma original quedan muy finos comparados con sus correspondientes en la corregida. Esto hace que la correspondencia se calcule con un número aleatorio en un intervalo grande. En cambio el Método 2, como sólo expande o contrae el histograma, puede obtener una transformación más precisa.

Un hecho destacable que se observa a partir de los resultados obtenidos es que cuando la corrección de una imagen se realiza con una tabla de correspondencia obtenida con la propia imagen, por ejemplo usar la Pareja 6 para corregir la Imagen 6, el Método 2 también obtiene mejores resultados que el Método 1. En cualquier caso el método base obtiene los mejores de entre los tres, con un porcentaje de mejora del 100% en todos los casos.

4.1.2 Corrección de imágenes semejantes

Teniendo en cuenta el origen de las imágenes, esto es un sistema de visión instalado a bordo de un tractor moviéndose en un campo de cultivo y capturando imágenes espaciadas en el tiempo con un intervalo de aproximadamente 2 segundos, la mayoría de las imágenes procedentes de una misma zona poseen características similares entre ellas, en lo que a componentes de color se refiere.

Para comprobar la corrección de imágenes similares a la utilizada en la construcción de la tabla de correspondencia se seleccionan cinco imágenes de la misma zona, mostradas en el Apéndice B, Figuras B.1 y B.2 (a), y tomadas con intervalos de tiempo del orden de segundos entre ellas. En este proceso se selecciona una de ellas para proceder a su corrección manual a fin de obtener una imagen de referencia con la que construir la tabla de correspondencias con la cual se corrigen las cinco imágenes restantes.

En la Tabla 4.3 podemos ver los porcentajes de mejora obtenidos al corregir las cuatro imágenes de la Figura B.1 empleando las imágenes de la Figura B.2 en la construcción de la tabla de correspondencias.

Tabla 4.3 Porcentaje de mejora al corregir imágenes similares

		Original	Línea Base	Método1	Método2
Distancia 1	ImagenA	0,5948	97,4	97,1	96,1
	ImagenB	0,5280	89,7	89,1	91,6
	ImagenC	0,4982	83,4	82,8	84,9
	ImagenD	0,5913	98,0	97,2	93,4
Distancia 2	ImagenA	370 xe06	97,5	97,7	96,2
	ImagenB	329 xe06	89,9	89,5	91,9
	ImagenC	311 xe06	83,8	83,4	85,4
	ImagenD	368 xe06	98,2	97,8	93,7

En las Figuras 5.4 y 5.5 se muestra una representación gráfica de los resultados de la Tabla 4.3:

Figura 4.5 Mejora obtenida al corregir las cuatro imágenes usando la distancia euclídea

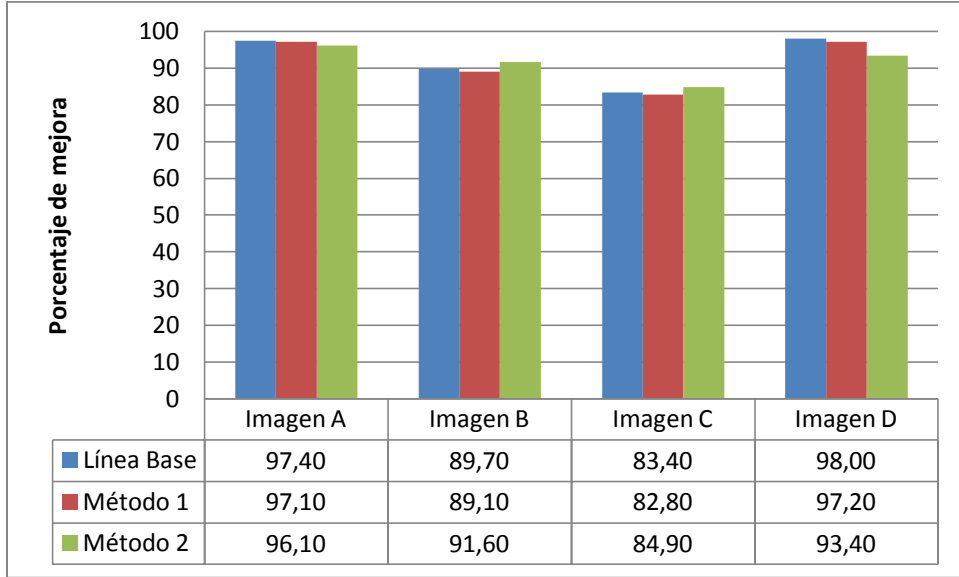
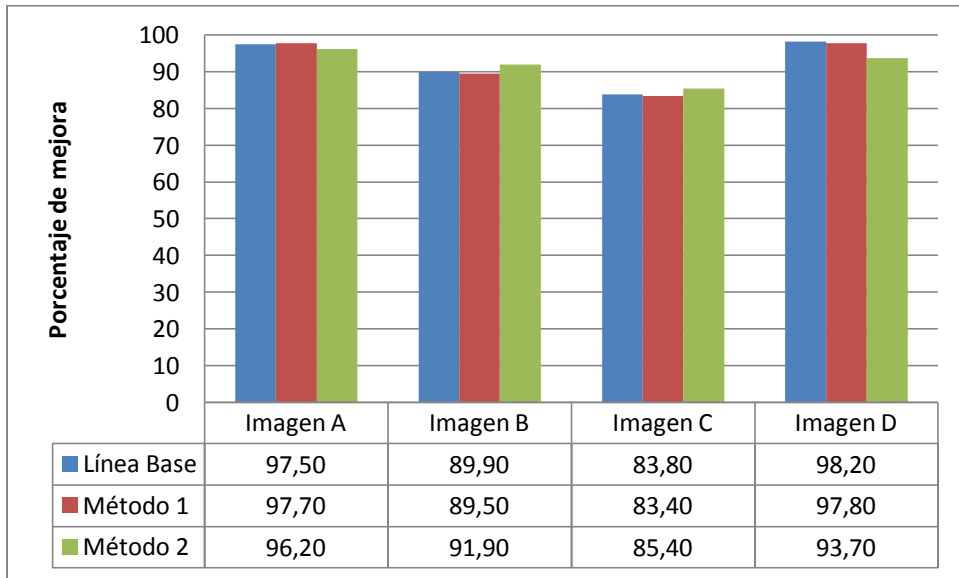


Figura 4.6 Mejora obtenida al corregir las cuatro imágenes usando la distancia EMD

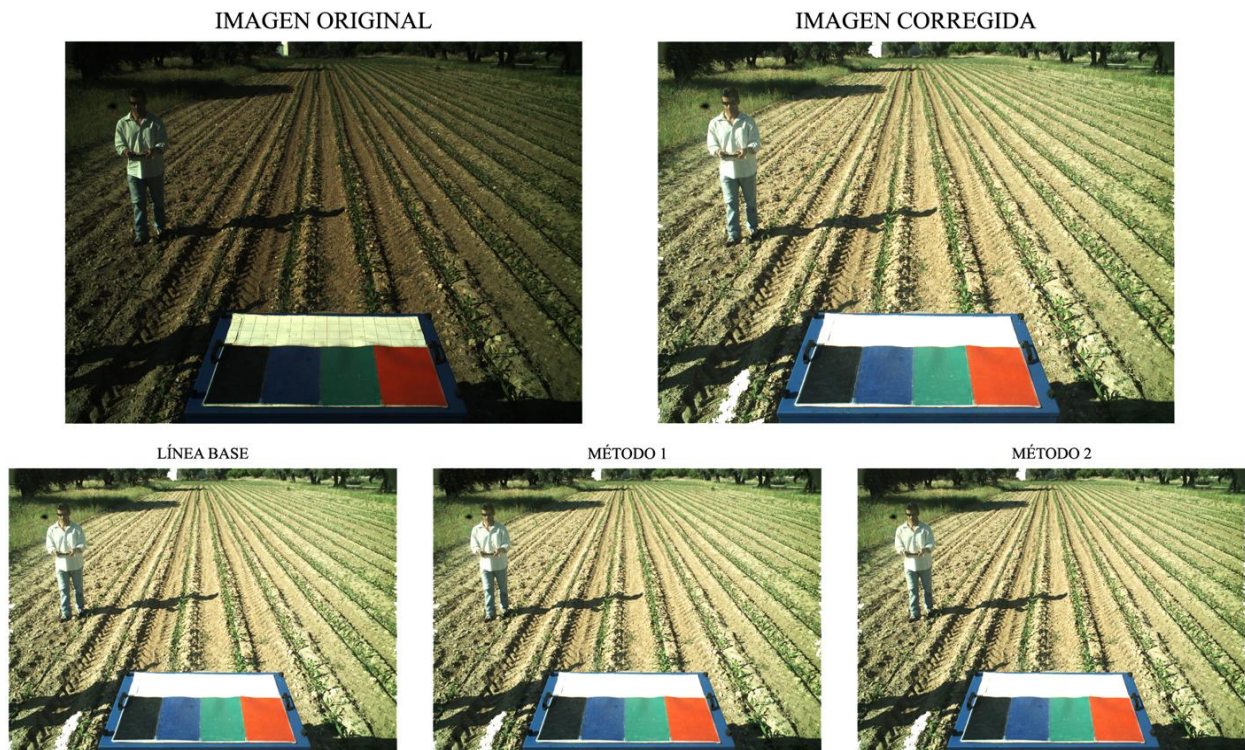


En la sección 4.1.1 hemos visto que, con imágenes independientes unas de otras, el Método 1 obtenía mejores resultados que el Método 2 en todos los casos salvo dos: cuando la diferencia de calidad entre las dos imágenes usadas en la construcción de la tabla era muy elevada, o cuando se corregía la misma imagen empleada en su construcción.

En la Tabla 4.3 y Figuras subsiguientes podemos apreciar que esto ya no se cumple al corregir imágenes similares. En este caso el Método 2 es mejor que el Método 1 en dos de las cuatro correcciones, de hecho también supera los resultados de la Línea Base, y es prácticamente igual en otra más.

Además ocurre que, como los tres métodos obtienen resultados tan buenos con este tipo de imágenes, las diferencias en las mejoras son prácticamente inapreciables a simple vista, como se puede comprobar en las imágenes de la Figura 4.7.

Figura 4.7 Resultados obtenidos al corregir la Imagen B con los tres métodos (abajo) frente a la original (arriba izquierda) y a la corregida manualmente (arriba derecha)



4.1.3 Corrección de imágenes empleando una imagen de referencia independiente

A veces no es posible disponer de una imagen de referencia corregida para generar la tabla de correspondencias. En efecto, se trata de una situación previsible en el marco del proyecto RHEA, ya que el tractor toma imágenes un día determinado bajo situaciones diferentes a las tomadas en otros momentos. En dichos supuestos habría que recurrir a imágenes de características similares obtenidas previamente y que se encontraran disponibles. En estos casos, los resultados obtenidos con el método identificado como Línea Base serían realmente malos, al no disponer de una pareja de similares características a la hora de construir la tabla de correspondencias. Sin embargo, los resultados obtenidos mediante los otros métodos son satisfactorios en este caso, ya que al actuar directamente sobre el histograma pueden llevar a cabo la corrección.

La Tabla 4.4 muestra las mejoras obtenidas al corregir las mismas cuatro imágenes de antes, que se muestran en la Figura B.1, salvo que esta vez tomando las dos imágenes de la Figura B.3 como pareja a la hora de construir la tabla de correspondencias. Se puede observar que los porcentajes de mejora correspondientes a la Distancia 2, esto es la distancia entre histogramas, son aceptables (entre un 78 y un 89%) pero que, sin embargo, los resultados con la Distancia 1 son considerablemente malos. Esto se debe a que la imagen obtenida tiene un nivel de ruido muy alto. De esta forma, aunque la distancia euclídea sea baja para los píxeles en los que se obtiene una buena corrección, será alta en el resto, contrarrestándose ambas al calcular la media.

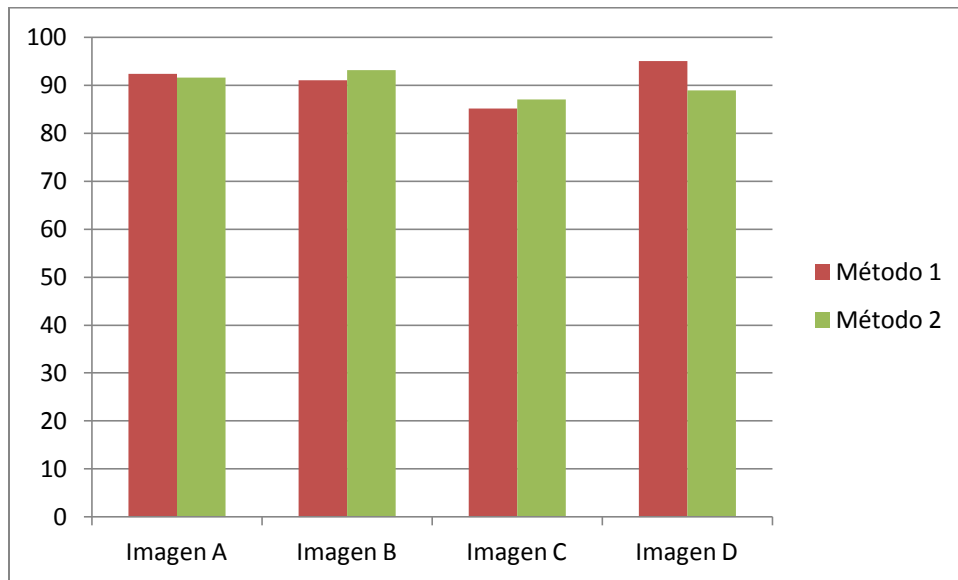
Tabla 4.4 Mejoras obtenidas al corregir cuatro imágenes usando una pareja de imágenes distintas para construir la tabla de correspondencias

		Original	Línea Base	Método1	Método2
Distancia 1	ImagenA	0,5948	1,39	92,4	91,6
	ImagenB	0,5280	-8,71	91,1	93,2
	ImagenC	0,4982	-15,17	85,2	87,1
	ImagenD	0,5913	0,65	95,1	88,9

Distancia 2	ImagenA	370 xe06	77,89	94,1	92,8
	ImagenB	329 xe06	85,25	93,0	95,3
	ImagenC	311 xe06	88,72	87,1	88,9
	ImagenD	368 xe06	78,3	97,4	90,2

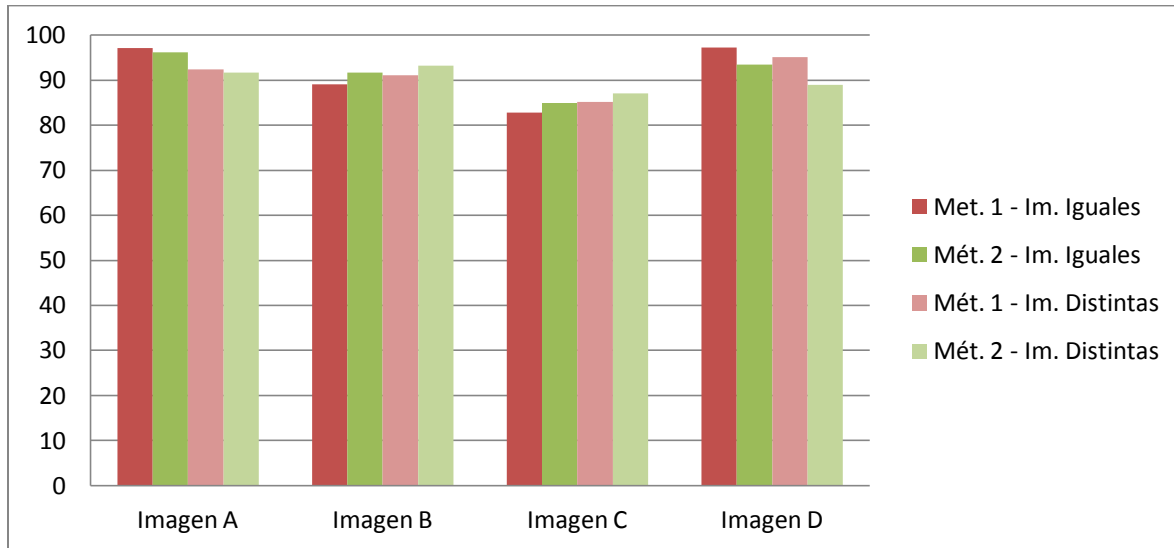
En la Figura 4.8 podemos ver una representación gráfica de las mismas. Solo incluimos la Distancia 1 pues los resultados para la Distancia 2 son muy similares. También descartamos la Línea Base pues, aunque aproxima el histograma con un porcentaje aceptable, la imagen resultante tiene demasiado ruido como para ser útil en los análisis posteriores.

Figura 4.8 Comparación de las mejoras obtenidas según la Distancia 1



Se puede comprobar que los resultados mantienen la relación observada en la sección anterior, ocurriendo de nuevo que el Método 2 es mejor que el Método 1 en dos de las cuatro correcciones y similar en otra de ellas. A continuación, en la Figura 4.9, podemos ver una representación de las mejoras obtenidas, para la Distancia 1, según se use una pareja de imágenes iguales (Tabla 4.3) o una pareja de imágenes distintas (Tabla 4.4).

Figura 4.9 Mejora obtenida por los métodos según el tipo de pareja de imágenes usada en la construcción de la tabla de correspondencias



Observamos que los resultados son muy estables, es decir que si el Método 1 era mejor que el Método 2 al usar imágenes iguales sigue siéndolo al usar imágenes distintas. También se puede ver que el usar un tipo de pareja u otro no afecta de forma evidente a los resultados, pues en todos los casos se consigue una mejora superior al 82% y el mejor porcentaje no se logra con un tipo específico de pareja (las imágenes A y D se corrigen mejor con la pareja de imágenes iguales y la B y C con la pareja de imágenes distintas).

4.2 Tiempo de cómputo

Como se ha mencionado previamente, dado que uno de los objetivos de los métodos propuestos es conseguir tiempos computacionales dentro de los parámetros de procesamiento en tiempo real requeridos en el proyecto RHEA, cuyo orden de magnitud se sitúa en torno a los 2 segundos por imagen, en esta sección se analizan los tiempos relativos al coste computacional de los métodos propuestos para la corrección radiométrica de las imágenes. Con tal propósito se han utilizado las funciones predefinidas de MATLAB (2014) tic y toc (Knapp-Cordes y McKeema, 2014) que computan el tiempo, en segundos, transcurrido entre la ejecución de las líneas de código donde se insertan.

Dado que cada uno de los dos métodos de corrección propuestos (Método 1 y Método 2) consta de dos partes, a saber: creación de la tabla de correspondencias y corrección de las nuevas imágenes, el análisis que se muestra a continuación se divide de igual forma, identificándose por las correspondientes secciones.

4.2.1 Tiempo requerido para la construcción de la tabla de correspondencias

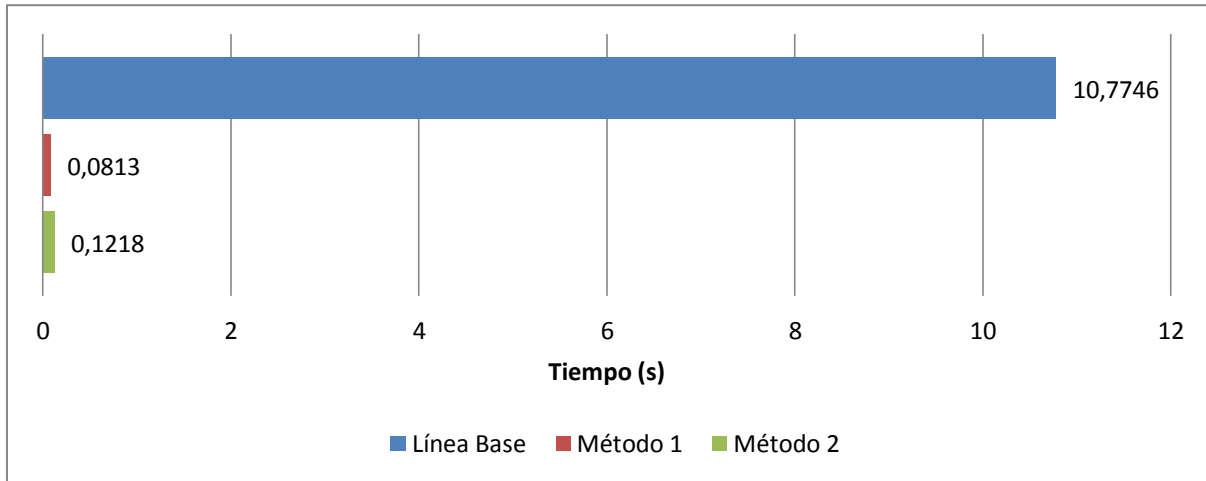
Para la comprobación del tiempo que requiere la construcción de la tabla empleamos los diez pares de imágenes del Apéndice A. Se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 4.5, que especifica el tiempo, en segundos, requerido por cada método para construir la tabla de correspondencias para cada una de las diez parejas. La última línea muestra los valores medios de los tiempos obtenidos.

Tabla 4.5 Tiempo, en segundos, empleado en la construcción de las tablas

	Línea Base	Método 1	Método 2
Pareja 1	10,922	0,085	0,125
Pareja 2	10,518	0,08	0,125
Pareja 3	10,434	0,082	0,121
Pareja 4	10,578	0,08	0,113
Pareja 5	11,597	0,083	0,126
Pareja 6	11,307	0,084	0,131
Pareja 7	11,269	0,08	0,132
Pareja 8	10,123	0,08	0,114
Pareja 9	10,664	0,079	0,117
Pareja 10	10,333	0,079	0,114
Media	10,7746	0,0813	0,1218

Se observa que los tiempos empleados por los dos algoritmos, Método 1 y Método 2, son visiblemente superiores a los obtenidos por el algoritmo voraz o Línea Base, pues mientras éste nunca está por debajo de los 10 segundos los correspondientes a los Métodos 1 y 2 no superan las 15 centésimas. Estas consideraciones se reflejan claramente en la gráfica de la Figura 4.10.

Figura 4.10 Tiempo medio, en segundos, empleado en la creación de la tabla



4.2.2 Tiempo empleado en la corrección de imágenes

Para la segunda parte se repite el proceso usado al comprobar la corrección tomando cuatro parejas de imágenes distintas para construir las tablas, de forma que con cada una de ellas se procede a la corrección de las diez imágenes. La Tabla 4.6 muestra los tiempos, en segundos, para las diez imágenes y las diferentes parejas. Para cada uno de los métodos, parejas e imágenes se calculan los correspondientes tiempos promediados sobre el conjunto de imágenes.

Tabla 4.6 Tiempo (en segundos) empleado en la corrección de imágenes

Tiempo (s)		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5	
Línea Base	Pareja1	0,84	0,82	0,98	0,82	1,31	
	Pareja3	0,79	0,85	1,01	0,85	1,31	
	Pareja6	0,78	0,81	1,00	0,93	1,32	
	Pareja8	0,78	0,80	0,99	1,31	0,79	
	Media	0,80	0,82	0,99	0,84	1,31	
		Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10	Media
Línea Base	Pareja1	0,79	1,36	0,91	0,90	0,92	0,97
	Pareja3	0,79	1,38	0,88	0,95	0,93	0,97
	Pareja6	0,78	1,34	0,85	0,93	0,93	0,96
	Pareja8	0,79	1,39	0,87	0,92	0,95	0,96
	Media	0,79	1,37	0,88	0,93	0,93	0,96

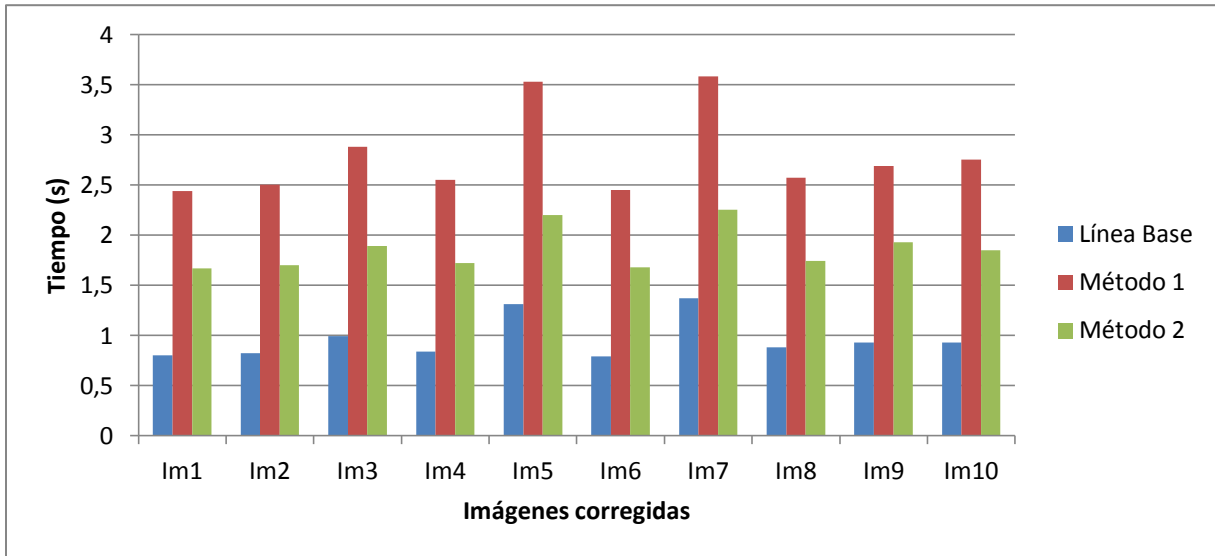
		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5	
Método 1	Pareja1	2,47	2,53	2,90	2,57	3,58	
	Pareja3	2,47	2,51	2,94	2,59	3,54	
	Pareja6	2,42	2,48	2,86	2,53	3,50	
	Pareja8	2,40	2,46	2,83	2,51	3,49	
	Media	2,44	2,50	2,88	2,55	3,53	
		Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10	Media
	Pareja1	2,50	3,64	2,61	2,74	2,80	2,83
	Pareja3	2,45	3,57	2,56	2,68	2,72	2,80
	Pareja6	2,43	3,56	2,56	2,68	2,75	2,78
	Pareja8	2,42	3,53	2,55	2,66	2,72	2,76
Media	2,45	3,58	2,57	2,69	2,75	2,79	

		Imagen1	Imagen2	Imagen3	Imagen4	Imagen5	
Método 2	Pareja1	1,70	1,72	1,89	1,78	2,21	
	Pareja3	1,65	1,68	1,87	1,70	2,19	
	Pareja6	1,69	1,70	1,89	1,71	2,20	
	Pareja8	1,65	1,68	1,90	1,70	2,20	
	Media	1,67	1,70	1,89	1,72	2,20	
		Imagen6	Imagen7	Imagen8	Imagen9	Imagen10	Media
	Pareja1	1,68	2,24	1,72	1,90	1,89	1,87
	Pareja3	1,66	2,26	1,74	1,79	1,81	1,84
	Pareja6	1,67	2,26	1,73	1,81	1,82	1,85
	Pareja8	1,70	2,23	1,75	1,82	1,87	1,85
Media	1,68	2,25	1,74	1,93	1,85	1,85	

Conviene tener en cuenta que la tabla de correspondencias se puede construir en cualquier momento, al ser únicamente necesarias dos imágenes para su comparación, por lo que el tiempo requerido para su creación no es determinante a la hora de validar la eficiencia del método. Si, como es el caso, se corrigen las imágenes mientras el tractor se mueve, es necesario disminuir al máximo el tiempo de cómputo en la segunda parte del proceso, esto es la corrección de las imágenes propiamente dicha.

Es en este segundo caso, según los resultados mostrados en la Tabla 4.6, donde la Línea Base adquiere ventaja respecto de los Métodos 1 y 2 en relación a los tiempos de cómputo. Los resultados de dicha tabla, representados gráficamente en la Figura 4.11, muestran claramente que dicha ventaja se manifiesta en que el método voraz resulta ser aproximadamente el triple de rápido que el Método 1 y el doble que el Método 2.

Figura 4.11 Tiempo medio, en segundos, empleado en la corrección de las imágenes



Capítulo 5. Conclusiones

Inicialmente se plantearon como objetivos de este trabajo la corrección de las imágenes obtenidas en entornos de exterior para aplicaciones agrícolas con el fin de mejorar su calidad. Esta necesidad fue consecuencia de las características específicas del sistema de visión utilizado para la captura de las imágenes y su posterior procesamiento.

Dado que el sistema de visión se encuentra instalado en un tractor agrícola robotizado, es necesario tener en cuenta las consideraciones propias de los sistemas de tiempo real. Con tal propósito se han diseñado y propuesto dos métodos de corrección de imágenes, cuya valoración y análisis se han establecido teniendo en cuenta tanto consideraciones de calidad en la corrección como de tiempos de cómputo.

Como se ha visto en el apartado anterior, en el supuesto de contar con una pareja de imágenes iguales, es decir una imagen obtenida por la cámara y su correspondiente corregida manualmente, ninguno de los métodos propuestos obtiene, en general, mejores resultados que el método establecido como Línea Base en cuanto a mejora de la calidad de las imágenes se refiere. Y en los pocos casos en que son mejores la diferencia es ínfima o se deben cumplir condiciones muy específicas, como que las imágenes usadas al construir la tabla de correspondencias tengan una gran variación de color entre ellas.

En cuanto al tiempo de cómputo, el algoritmo devorador es claramente superior a la hora de corregir las imágenes y la única desventaja que posee respecto a los otros métodos se da en el caso de que tenga también que construirse la tabla de correspondencias durante el proceso. De todas formas, como la tabla sólo hay que construirla una vez, el proceso global, esto es la construcción de la tabla y la corrección de las imágenes, de la Línea Base resulta ser más rápido que el del Método 1 si se corrigen al menos seis imágenes y que el del Método 2 si son doce.

En el caso de necesitar recurrir a imágenes independientes la Línea Base no puede emplearse y los dos métodos propuestos obtienen resultados parecidos, por lo que el más eficiente es el Método 2, que requiere menos tiempo de cómputo.

Capítulo 6. Trabajo Futuro

Como se ha expuesto en la descripción de los métodos, éstos se fundamentan en la definición de una serie de bloques que se establecen a partir de los histogramas, que constituyen la base en la construcción de la tabla de correspondencias. Por ello parece lógico pensar que si se mejora la distribución de los mismos también mejorará el resultado del proceso. Según esto, ciertos experimentos preliminares, descritos a continuación, proporcionan los indicios suficientes en este sentido, que se desglosan de acuerdo a los dos métodos planteados en este trabajo.

6.1 Mejoras propuestas para el método de aproximación mediante valores aleatorios

6.1.1 Modificar el tamaño de los bloques del histograma

En el apartado 3.1 decíamos que era mejor construir los bloques con ancho lo más pequeño posible porque así se conservaban los máximos y mínimos, y en general la forma de la curva del histograma que delimitan. Esto se debe a que la aproximación se realiza mediante valores aleatorios, de forma que si el bloque es grande los valores se dispersan, perdiéndose la forma de la curva.

En la Tabla 6.1 podemos ver cómo afecta a los resultados el tamaño de los bloques. Para las pruebas tomaremos desde bloques relativamente estrechos, con un 0,003% de los píxeles totales, hasta bloques anchos, con un 15%, teniendo en cuenta que en los ejemplos del Capítulo 4 tomamos bloques con un 1%.

Tabla 6.1 Porcentaje de mejora obtenido al modificar el porcentaje de píxeles por bloque

		Original	0,003%	0,25%	1%	5%	15%
Distancia 1	Imagen1	0,5397	99,1	99,0	98,3	93,1	82,2
	Imagen2	0,5072	98,4	98,3	97,8	92,3	80,5
	Imagen3	0,3928	81,4	80,9	79,9	75,9	66,0
	Imagen6	0,5249	95,4	95,3	94,7	91,1	81,1
	Imagen8	0,5019	54,6	54,4	53,7	51,7	47,0

Distancia 2	Imagen1	23618	95,5	95,6	91,1	64,4	58,0
	Imagen2	25393	93,1	93,2	89,3	63,8	56,4
	Imagen3	31728	75,7	75,9	69,0	60,7	63,8
	Imagen6	20836	84,0	85,5	82,3	76,6	69,9
	Imagen8	48257	60,4	60,9	61,4	58,5	57,8

La mejora de la calidad es evidente al tomar bloques estrechos, aunque a partir de cierto punto deja de ser remarcable esta situación. De hecho, como se puede deducir a partir de los resultados de la Tabla 6.1, la Distancia 2, que mide la similitud entre los histogramas, empeora ligeramente al reducir el porcentaje a un 0,003% de píxeles.

En el caso del tiempo requerido para la construcción de la tabla de correspondencias la diferencia entre usar bloques más o menos estrechos no es evidente, siendo éstas del orden de las milésimas de segundo. En la Tabla 6.2 podemos observar el tiempo, en segundos, empleado para construir la tabla entre cada una de las diez parejas modificando el número de píxeles dentro de cada bloque.

Tabla 6.2 Tiempo, en segundos, empleado en la construcción de la tabla de correspondencias entre todas las parejas

	0,003 %	0,25 %	1 %	5 %	15 %
Pareja 1	0,084	0,082	0,104	0,081	0,083
Pareja 2	0,08	0,08	0,079	0,079	0,079
Pareja 3	0,085	0,084	0,082	0,084	0,082
Pareja 4	0,083	0,08	0,08	0,079	0,079
Pareja 5	0,084	0,082	0,081	0,082	0,081
Pareja 6	0,084	0,083	0,081	0,084	0,079
Pareja 7	0,082	0,08	0,079	0,079	0,078
Pareja 8	0,082	0,08	0,079	0,08	0,08
Pareja 9	0,083	0,079	0,08	0,08	0,079
Pareja 10	0,083	0,08	0,079	0,079	0,08
Media	0,083	0,081	0,082	0,081	0,08

Como es bien sabido, el proceso necesita consumir el menor tiempo posible en la ejecución, siendo importantes las centésimas de segundo de cara al procesamiento en tiempo

real. En este sentido una posible mejora vendría por el estudio del tamaño óptimo de los bloques, de suerte que superando un determinado tamaño las posibles mejoras obtenidas en la calidad no fuesen rentables en comparación con el tiempo extra de ejecución requerido en estos casos.

6.1.2 Tomar un valor aleatorio fijo

Otra posible mejora sería cambiar la forma en la que se calcula la sustitución de valores al corregir una nueva imagen. En la actualidad la tabla de correspondencias guarda dos valores para cada uno de los 256 posibles valores del píxel y con ellos se calcula el nuevo valor de forma aleatoria.

El cambio consistiría en trasladar este cálculo al proceso de construcción de la tabla evitando la necesidad de realizar el cómputo durante la corrección. Por tanto, a todos los valores iguales de la imagen original les correspondería el mismo valor en la corregida, evitando tener que calcular un valor aleatorio para cada píxel de la imagen, y de esta forma se conseguiría un ahorro importante en la corrección, precisamente la principal desventaja del Método 1 respecto a la Línea Base.

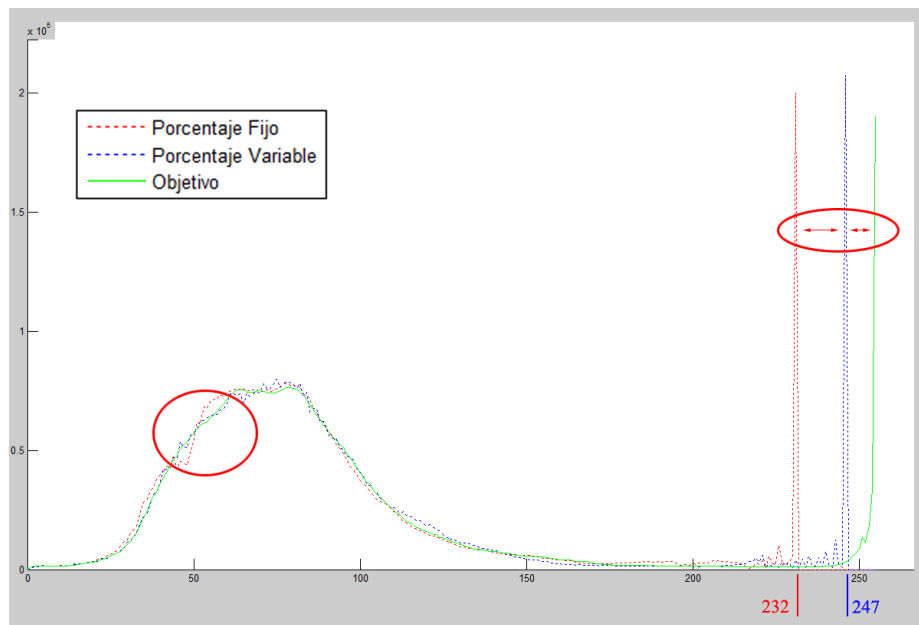
No obstante esta modificación conllevaría sus desventajas. Por una parte aumentaría el tiempo empleado en la construcción de la tabla, aunque dicho aumento sería relativamente asumible pues sólo se calcularían 256 valores aleatorios. Por otra parte, la calidad de la imagen se vería también comprometida, siendo necesario estudiar en qué medida se ve afectada dicha calidad. En cualquier caso, es esperable que la diferencia sólo sea apreciable cuando el tamaño de los bloques en que se divide el histograma es elevado.

6.2 Mejoras propuestas para el método de semejanza de histogramas

El método de semejanza de histogramas mediante interpolación no comparte las características del anterior, en el sentido de que si el tamaño de los bloques se reduce la solución puede empeorar. De hecho, mientras que con el Método 1 el hecho de usar el mismo porcentaje al hallar las tablas de correspondencia para cada uno de los canales, rojo, verde y azul, no afecta de forma evidente al resultado, en el caso que nos ocupa es previsible que resulte mejor usar un porcentaje para cada canal.

En la Figura 6.1 podemos observar la diferencia existente entre el histograma de la imagen objetivo y los histogramas de las imágenes corregidas, una con un porcentaje fijo del 1% en los tres canales y otra con un porcentaje variable en cada uno de los canales.

Figura 6.1 Comparativa entre los histogramas (en escala de grises)



La dificultad en la mejora propuesta estribaría en encontrar los mejores valores del tamaño de los bloques para cada imagen, pues cada una posee uno (o varios) porcentajes óptimos, y cualquier pequeño cambio en el histograma de la imagen afecta a dichos valores.

En la figura 6.2 izquierda se muestra una imagen original y en la derecha la misma imagen degradada cuya calidad ha sido artificialmente empeorada mediante la manipulación interactiva del histograma.

En las Figuras 6.3 y 6.4 se muestran dos ejemplos tras aplicar, sobre la imagen degradada, sendas correcciones. Se puede observar claramente la diferencia entre un porcentaje fijo y otro variable a la hora de corregir la imagen. Lo más evidente de la Figura 6.3 es que el cielo adquiere un tono rosáceo, mientras que la 6.4 recupera casi por completo el color de la imagen objetivo, aunque corrige por exceso las tonalidades naranjas y marrones.

Figura 6.2 Imagen original (a) y la misma imagen alterada (b)



Figura 6.3 Imagen obtenida al corregir con un porcentaje fijo del 1%



Figura 6.4 Imagen obtenida al corregir con porcentaje = [8.75; 11.25; 7]



Bibliografía

Chaa, S.; Sriharib, S.N. (2002). On measuring the distance between histograms. *Pattern Recognition*, 35, 1355–1370.

Cinegon (2014) Scheneider Kreuznach. C-Mount Lenses compact series 1". Disponible online: <http://www.schneiderkreuznach.com/en/industrial-solutions/lenses-and-accessories/products/> (accedido Junio 2014).

Dubuisson, S. (2010). The computation of the Bhattacharyya distance between histograms without histograms. *2nd International Conference on Image Processing Theory Tools and Applications (IPTA)*, 373-378.

Knapp-Cordes, M. McKeema, B. (2014). Improvements to tic and toc Functions for Measuring Absolute Elapsed Time Performance in MATLAB. Disponible online: http://www.mathworks.com/tagteam/68600_91934v00_TicToc.pdf (accedido Junio 2014).

Liu, X. (2012). An Improved Image Enhancement Algorithm Based on Fuzzy Set. *Physics Procedia*, 33, 790-797.

Maojun, Z., Jingni, X., Yunhao, L., Defeng, W. (2001). Color Histogram Correction for Panoramic Images. *IEEE Proc. Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM'01)*, 328-331.

MATLAB (2014). The Matworks. Disponible online: <http://www.thematworks.com/> (accedido Junio 2014).

National Instruments (2014). LabView. Disponible online: <http://spain.ni.com/> (accedido Junio 2014).

Pajares, G.; de la Cruz, J.M. (2007a). *Visión por Computador: imágenes digitales y aplicaciones*. RA-MA, Madrid.

Pajares, G.; de la Cruz, J.M. (2007b). Ejercicios Resueltos de Visión por Computador. RA-MA, Madrid.

Raju, G.; Nair, M.S. (2014). A fast and efficient color image enhancement method based on fuzzy-logic and histogram. *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, 68, 237-243.

RHEA (2014). Robot Fleets for Highly Effective Agriculture and Forestry Management. Disponible online: <http://www.rhea-project.eu/> (Accedido Junio 2014).

Romeo, J.; Guerrero, J.M., Montalvo, M., Emmi, L., Guijarro, M., Gonzalez-de-Santos, P., Pajares, G. (2013). Camera Sensor Arrangement for Crop/Weed Detection Accuracy in Agronomic Images. *Sensors*, 13, 4348-4366.

Rubner, Y.; Tomasi, C.; Guibas, L.J. (2000). The Earth Mover's Distance as a Metric for Image Retrieval. *International Journal of Computer Vision*, 40(2), 99–121.

Schneider Kreuznach (2014). Tipps and Tricks. Disponible online: <http://www.schneiderkreuznach.com/en/photo-imaging/product-field/b-w-fotofilter/products/filtertypes/special-filters/486-uvir-cut/>, (accedido Junio 2014).

SVS-VISTEK (2014). The Focal Point of Machine Vision. Disponible online: <http://www.svsvistek.com/> (accedido Junio 2014).

Wang, L.; Zhang, Y.; Feng, J. (2005). On the Euclidean Distance of Images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(8), 1334-1339.

Zhang, M.; Georganas, N.D. (2004). Fast color correction using principal regions mapping in different color spaces. *Real-Time Imaging*, 10, 23–30.

Apéndice A. Imágenes seleccionadas para las pruebas

A continuación se muestran las diez imágenes que seleccionamos para la realización de las pruebas. La imagen original obtenida por la cámara se muestra a la izquierda y la imagen corregida manualmente para tomar como referencia se muestra a la derecha.

Se puede apreciar que las seleccionadas forman grupos de imágenes parecidas: el primer grupo formado por la Imagen 1 y la 2; el segundo grupo incluye únicamente a la Imagen 3; el tercer grupo abarca desde la Imagen 4 hasta la 7; y el último grupo contiene las tres restantes.

En el caso de necesitar una pareja para construir la tabla de correspondencias se toman la original y la corregida con el mismo número. Además cada pareja empleada en las pruebas del capítulo 4 pertenece a uno de los grupos de imágenes antes descritos.

Figura A.1 Pareja 1

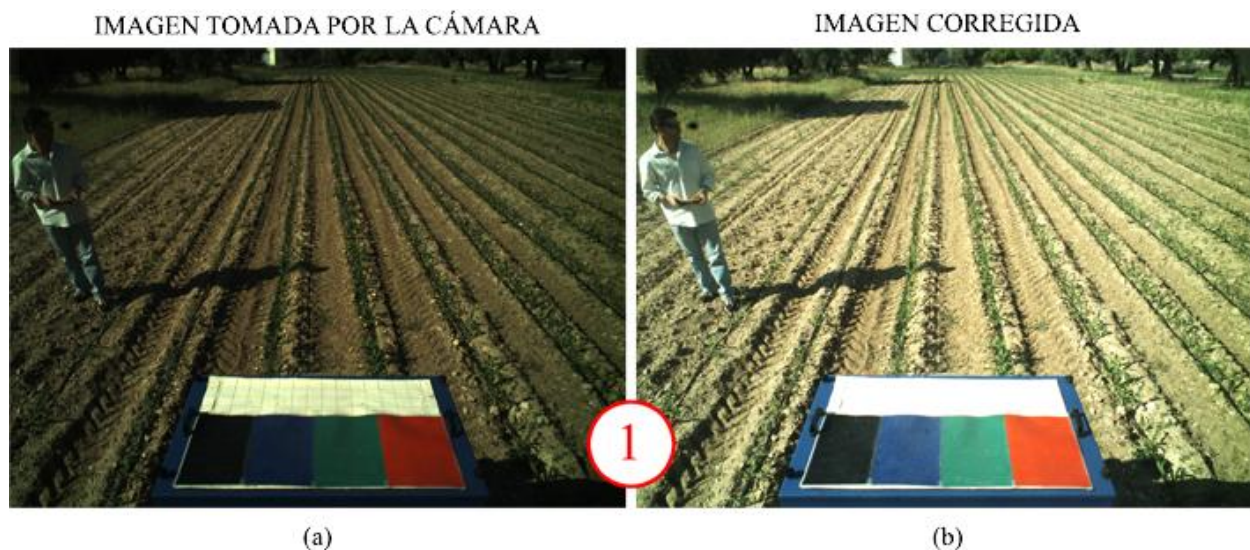


Figura A.2 Parejas 2 a 4

IMAGEN TOMADA POR LA CÁMARA

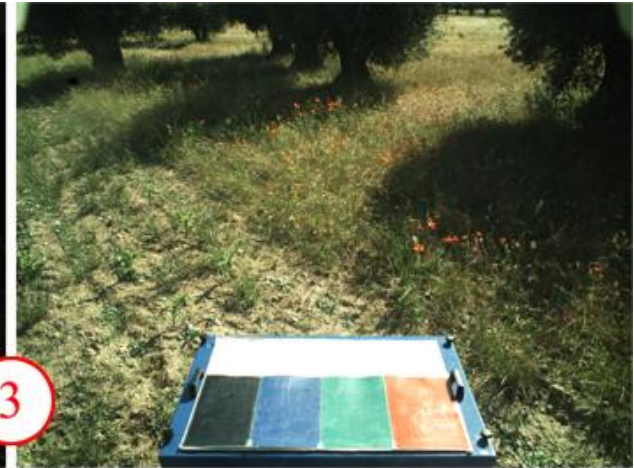
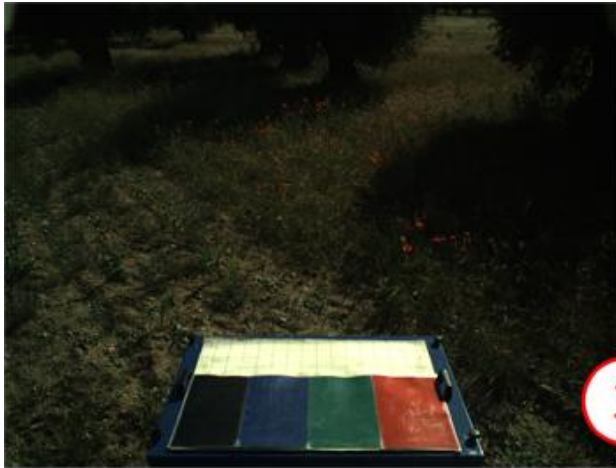
IMAGEN CORREGIDA



2

(a)

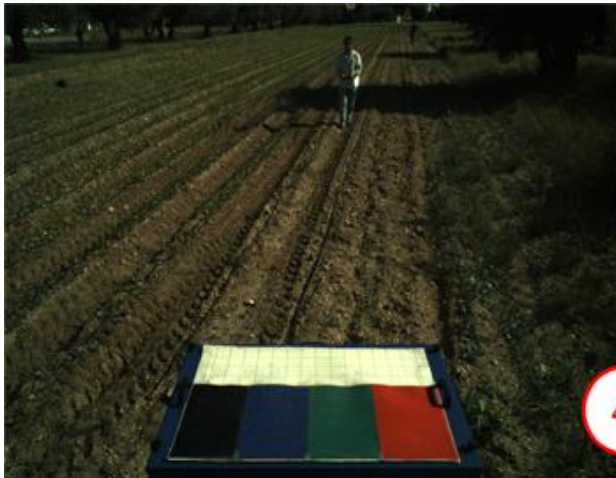
(b)



3

(a)

(b)



4

(a)

(b)

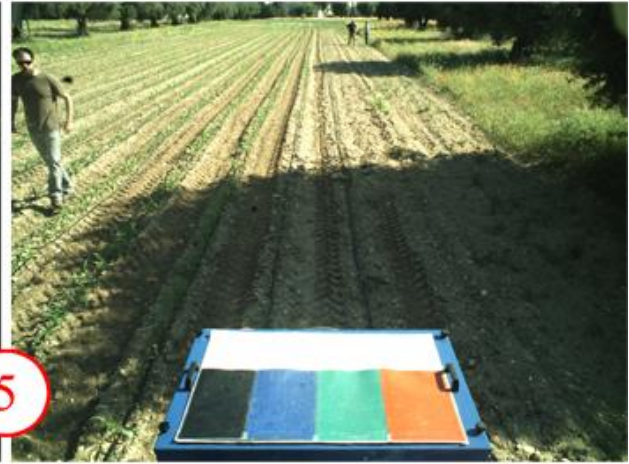
Figura A.3 Parejas 5 a 7

IMAGEN TOMADA POR LA CÁMARA

IMAGEN CORREGIDA



(a)



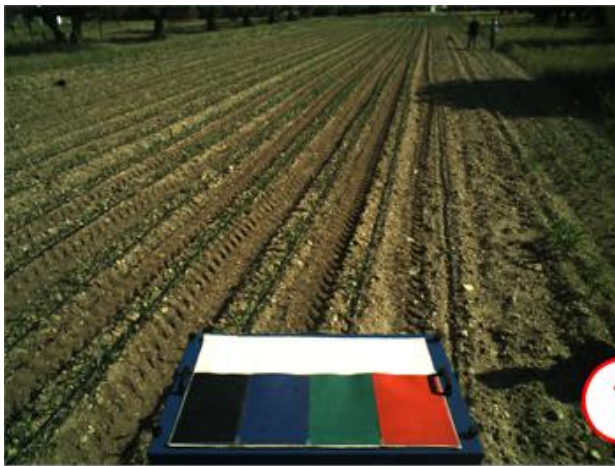
(b)



(a)



(b)



(a)



(b)

Figura A.4 Parejas 8 a 10

IMAGEN TOMADA POR LA CÁMARA

IMAGEN CORREGIDA



8

(a)

(b)



9

(a)

(b)



10

(a)

(b)

Apéndice B. Conjunto de imágenes similares

A continuación se muestran las imágenes seleccionadas para la prueba de la sección 4.1.2. Las de la Figura B.1 y la de la Figura B.2 (a) son las imágenes originales tomadas por la cámara.

Escogimos una, en este caso la de la Figura B.2 (a), y la corregimos de forma independiente para obtener la imagen de referencia. Luego empleamos esta pareja para construir la tabla de correspondencias y corregir el resto de imágenes.

Figura B.1 Imágenes que queremos corregir

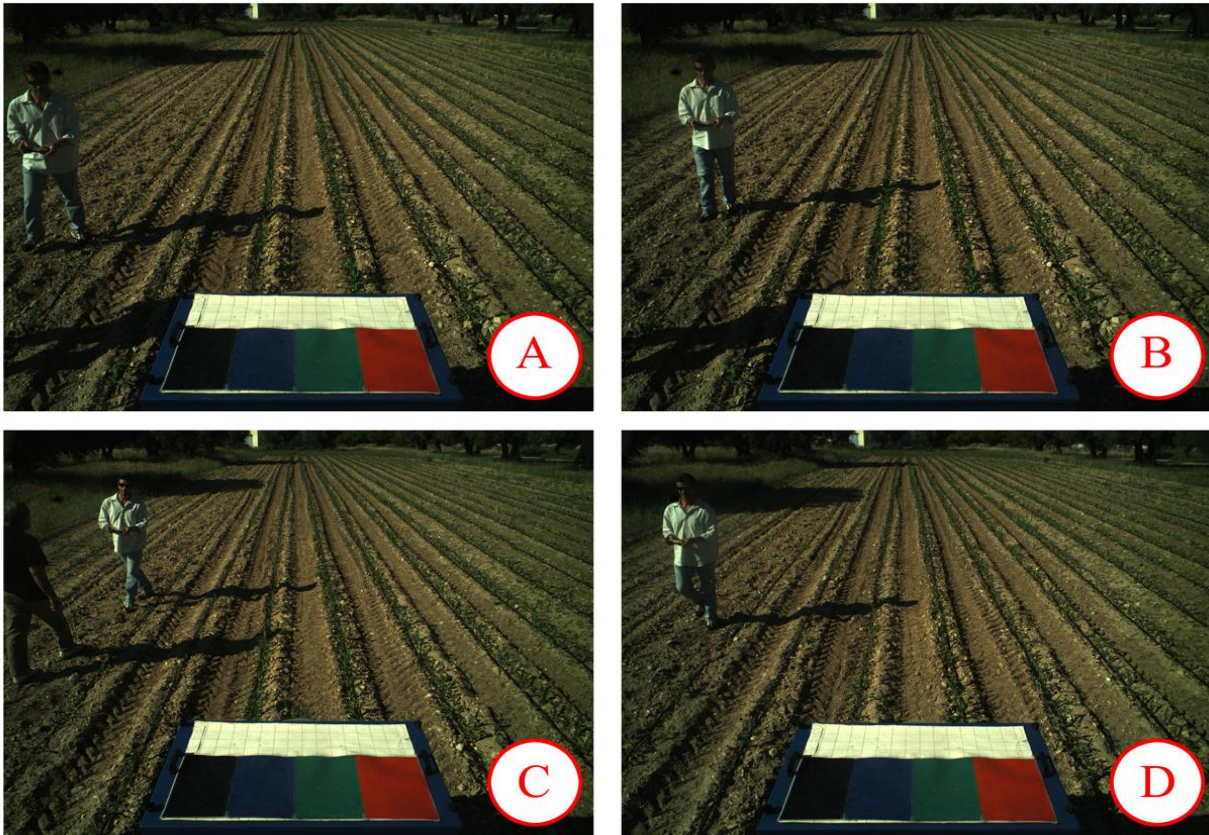
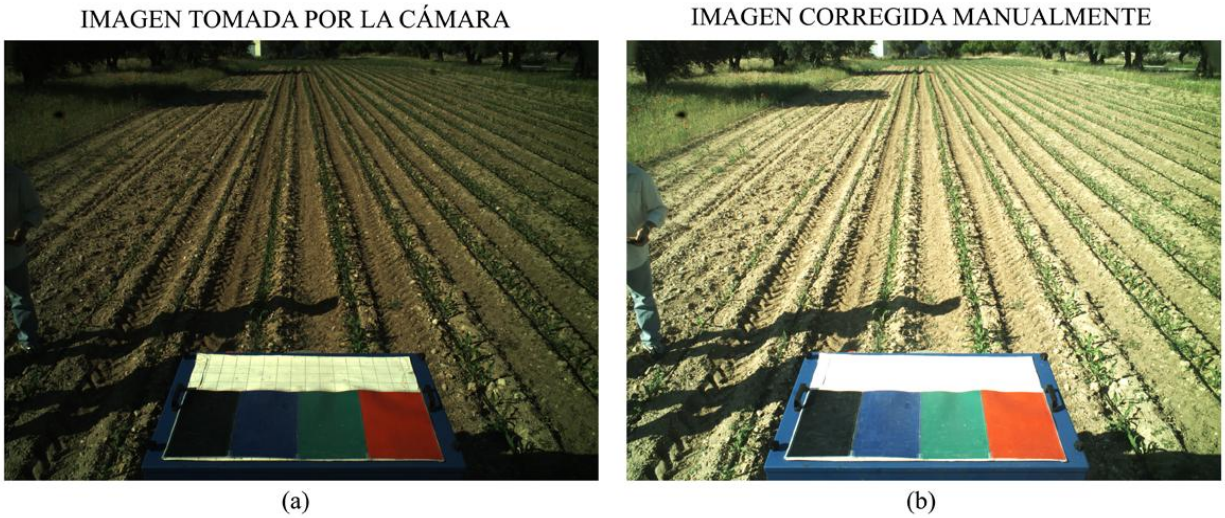
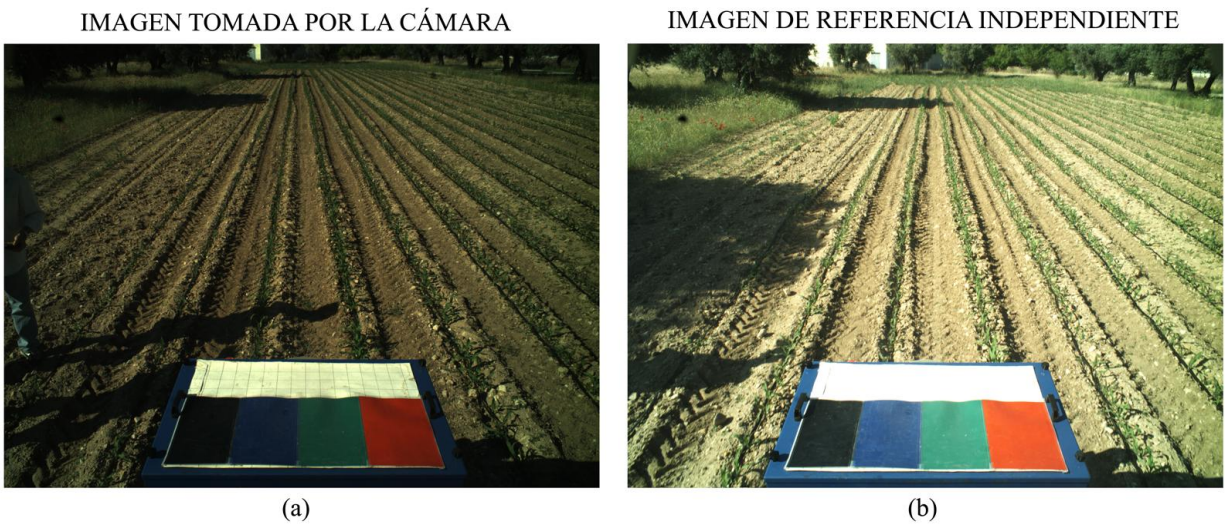


Figura B.2 Pareja de imágenes iguales con la que creamos la tabla de correspondencias



Para la prueba en que usamos dos imágenes independientes sustituimos la imagen de referencia por la corrección manual de una sexta imagen, distinta a las otras cinco pero tomada en la misma secuencia, Figura B.3 (b).

Figura B.3 Pareja de imágenes distintas con la que creamos la tabla de correspondencias



Apéndice C. Imágenes de comparación entre métodos de corrección

A continuación se muestran algunas de las correcciones obtenidas por nuestros métodos, correspondientes a los valores de la tablas 4.1 y 4.2.

En las figuras impares (C.1, C.3, C.5) podemos ver los resultados de corregir la distintas imágenes empleando cada uno de los métodos. Cada figura contiene cinco imágenes: la original que queremos corregir, la imagen objetivo, corregida por nosotros mismos, a la que queremos aproximarnos y los tres resultados obtenidos por los métodos.

Las gráficas de las figuras pares (C.2, C.4, C.6) muestran los distintos histogramas, en escala de grises, de cada una de las imágenes. Se puede apreciar que los histogramas de la imagen original se amontonan en los primeros valores del dominio, de igual forma que los histogramas de la imagen corregida poseen un pico en el 255, como se explicaba en la sección 3.3.2.

En general, los histogramas obtenidos con el Método 1 y de la Línea Base se superponen en gran parte del dominio, demostrando lo similares que son ambos métodos a la hora de corregir las imágenes. También son bastante parecidos al histograma de la imagen objetivo salvo en el tercer ejemplo (Figura C.6), que se corresponde al caso especial comentado en la sección 4.1.1 en el que se usa la Pareja 8 a la hora de construir la tabla de correspondencias.

En cambio el histograma obtenido con el Método 2 varía mucho de un ejemplo a otro. El primero (Figura C.2) tiene la misma forma básica que los otros, salvo que desplazado a la derecha. El segundo (Figura C.4) es completamente distinto a los histogramas de los otros métodos y de la imagen objetivo. En el último ejemplo (Figura C.6) el histograma sigue sin parecerse a los histogramas de los otros dos métodos aunque, sin embargo, es prácticamente igual al histograma de la imagen objetivo.

Figura C.1 Imagen 4 corregida con Pareja 1

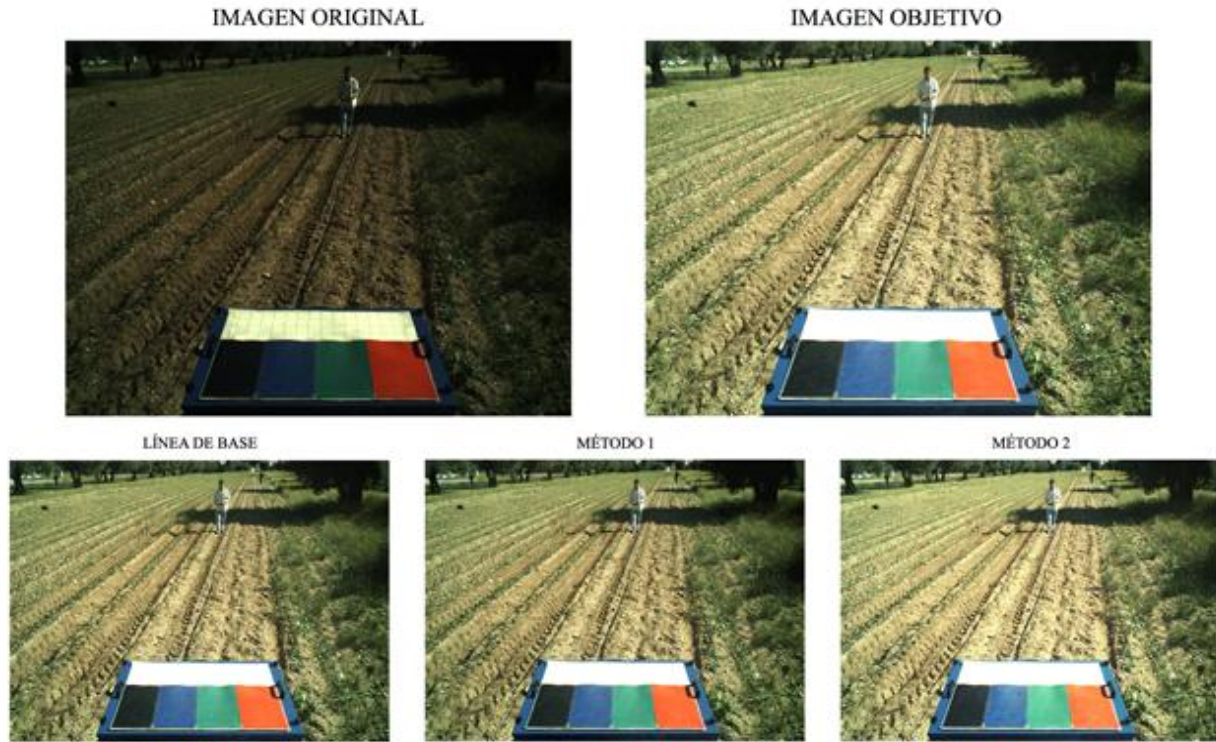


Figura C.2 Histogramas correspondientes a las imágenes de la Figura C.1

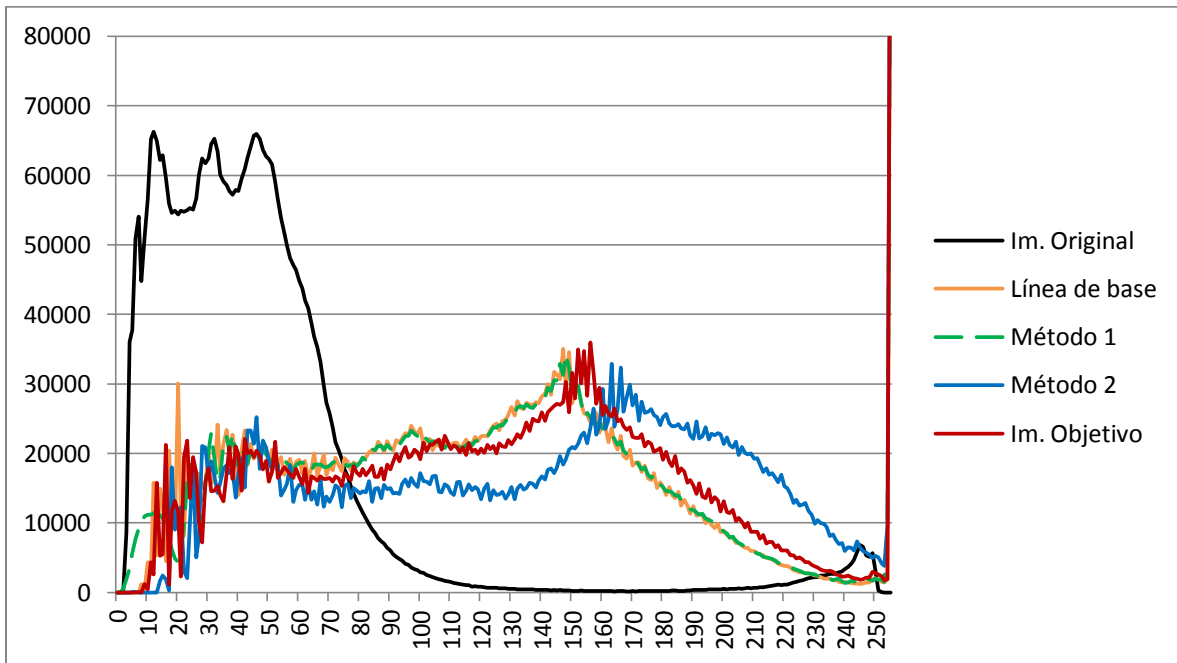


Figura C.3 Imagen 3 corregida con Pareja 6

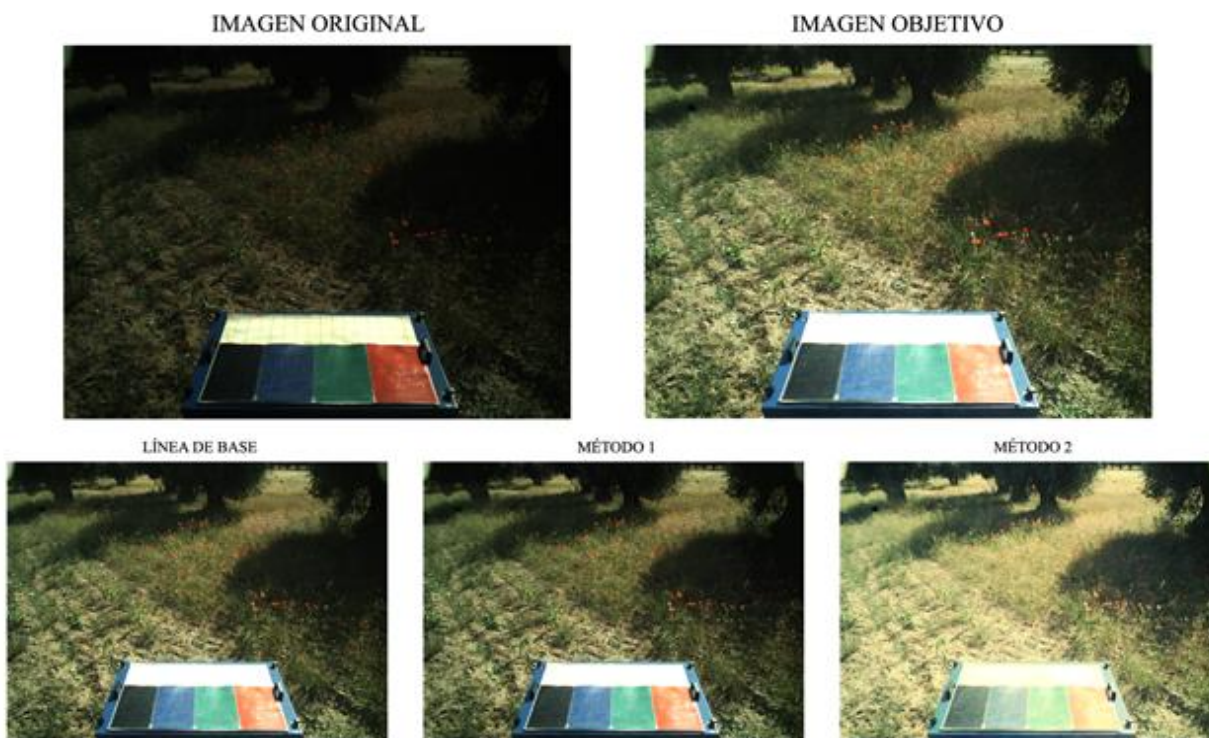


Figura C.4 Histogramas correspondientes a las imágenes de la Figura C.3

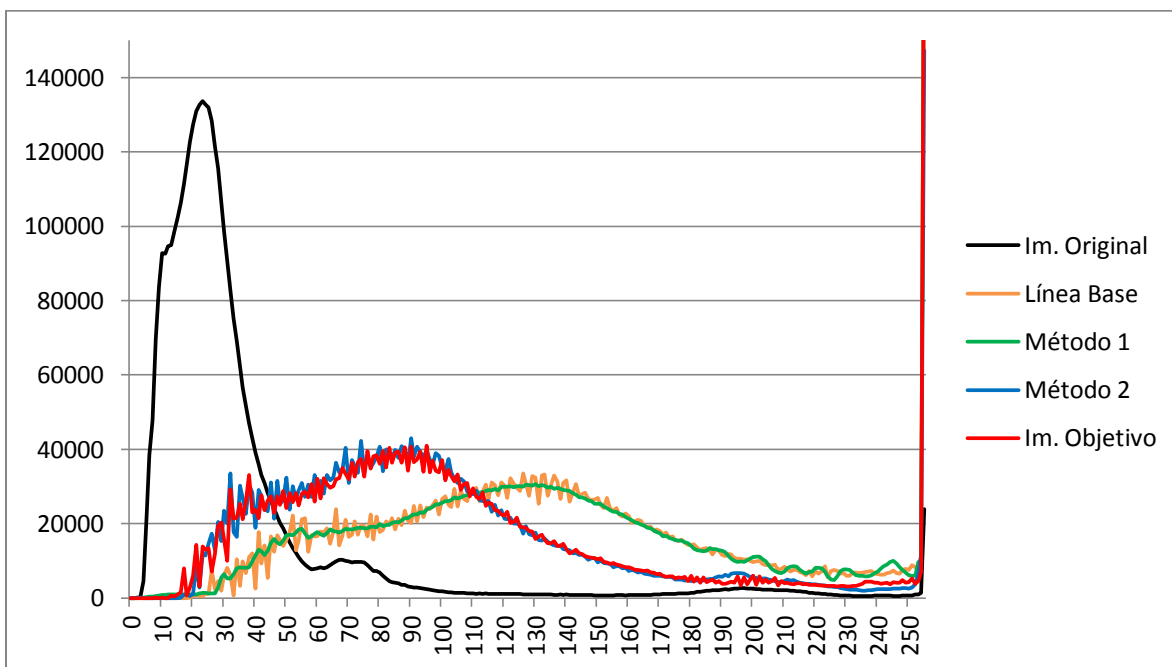


Figura C.5 Imagen 9 corregida con Pareja 8



Figura C.6 Histogramas correspondientes a las imágenes de la Figura C.5

