Metodología para la caracterización de formaciones de vegetación de ribera y su morfología fluvial asociada utilizando datos LiDAR e imágenes digitales de alta resolución

Tomás Fernández de Sevilla [1], Alfonso Gómez [2], Francisco J. Arjonilla [3], Roberto Martínez [4], Fernando Magdaleno [5]
[1] [2] [3] STEREOCARTO S.L. MADRID.
[4] [5] ÁREA DE INGENIERÍA AMBIENTAL. CENTRO DE ESTUDIOS DE TÉCNICAS APLICADAS. CEDEX

Resumen

En el presente documento se presenta una nueva metodología para la caracterización de formaciones de vegetación de ribera y su morfología fluvial asociada. La metodología está basada en la utilización de sensores aerotransportados LiDAR y Cámara Digital multiespectral de gran formato junto a perfiles batimétricos tomados en campo.

Este trabajo pone de manifiesto la utilidad de los datos captados por sensores LiDAR y cámaras digitales aerotransportadas en aplicaciones medioambientales.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, con la aparición de los nuevos sensores aerotransportados, cámaras digitales y sensores LIDAR, se presenta un abanico de nuevas posibilidades de trabajo en campos anteriormente ocupados exclusivamente por los sensores satelitales y por trabajos basados en visitas de campo. Hoy en día existe la posibilidad de emplear las imágenes obtenidas por cámaras digitales multiespectrales de gran formato para la clasificación de escenas y su aplicación a proyectos medioambientales, hidráulicos, etc.

En el trabajo presentado en este documento, se aplica la combinación de imágenes digitales y datos LIDAR para la caracterización de la vegetación y la geomorfología de cauces fluviales. Este proyecto surge por iniciativa del CEDEX Ministerio de Fomento – Medioambiente en su departamento de Ingeniería Ambiental para afrontar la necesidad de obtener una metodología que mejore la actualmente empleada, basada en la toma de datos en campo. Stereocarto ha planteado una metodología de trabajo basada en la combinación de datos LIDAR con imágenes fotogramétricas digitales de alta resolución, lo que permite disponer de la mayor cantidad y calidad de datos para efectuar el posterior análisis.

2. CONTENIDO

2.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo es definir una metodología para la caracterización de la vegetación y geomorfología de ribera a partir de datos obtenidos por sensores aerotransportados (Cámara digital y LIDAR), mejorando los resultados obtenidos con los métodos clásicos basados en visitas a campo. Esta metodología debe permitir el análisis de los siguientes parámetros:

a. Caracterización de las formaciones vegetales de ribera. Se deben determinar para cada orilla las siguientes variables:
   - Continuidad longitudinal del bosque de ribera
   - Altura media del bosque de ribera
   - Anchura de la franja riparia
   - Diferenciación de estratos: arbóreo y arbustivo.
   - Diferenciación de la vegetación de ribera (edafohigrófila) y la vegetación climatófila.

b. Caracterización de la geomorfología asociada al cauce. Las variables a determinar son:
   - Medición de la anchura del cauce principal y su relación con la anchura de las bandas riparias:
   - Medición de la profundidad de "bankfull", anchura y su relación.
   - Cálculo de las pendientes longitudinales a nivel de "thalweg" entre diferentes secciones.
   - Cálculo de las pendientes transversales de orilla a llanura de inundación que contienen la vegetación de ribera.
   - Representación de secciones transversales para la visualización del cauce, orillas, terreno y vegetación.
   - Estimación de la cota de la lámina de agua.
   - Toma de datos en campo midiendo aforos, tomando perfiles batimétricos y presentando estructuras del río.

2.2. Metodología

2.2.1. Selección de la zona de pruebas

Para la selección de la zona de pruebas se han impuesto las siguientes condiciones:

1. Deben existir diferentes variedades de vegetación, incluyendo vegetación arbórea (edafohigrófila y climatófila) y arbustiva.
2. Debe existir junto al cauce principal al menos un cauce secundario
3. Deben existir islas en el cauce principal

El punto 1 permitirá comprobar la validez de la metodología diseñada para la caracterización de la vegetación de ribera, mientras que los puntos 2 y 3 servirán para la caracterización de la geomorfología presentando un caso complejo.

Teniendo en consideración los aspectos resaltados anteriormente, se ha optado por realizar las pruebas en una zona del río Duero en la que se cumplen todas las condiciones impuestas.

2.2.2. Captura de datos

La captura de datos se ha realizado en dos fases, en la primera de ellas se realizó una campaña para la obtención de perfiles batimétricos capturados con ecosonda. Estos perfiles serán empleados para la modelización del cauce fluvial en zonas sumergidas. En una segunda fase se ha realizado un vuelo combinado con cámara digital y LiDAR, empleando para ello un avión con doble ventana. De este modo se realizó de forma simultánea la captura de datos altimétricos e imágenes digitales, permitiendo obtener ambas fuentes de información referidas a un mismo instante de tiempo. Este aspecto resulta importante dado el dinamismo de las zonas de ribera.

Los sensores utilizados, son un sistema LiDAR, ALS-II de Leica y una cámara digital DMC de Zeiss-Integraph, cuyas características básicas se detallan a continuación:

LIDAR, ALS-II 50 de Leica:

- Altura de vuelo: 200 m – 6.000 m.
- Frecuencia: hasta 150.000 Hz (150.000 pulsos/seg.)
- Ángulo de apertura: 10° - 75°
- Precisión: 10 cm altimetría
- Paso de malla: 0,3 m a 5 m
- Densidad de puntos: hasta 20 puntos por m^2

Cámara Digital DMC de Zeiss-Intergraph:

- Focal 120 mm.
- Tamaño de píxel 12 micras
- 12 bits por píxel
- Imagen final de 7.680 x 13.824 píxeles
- Imágenes PAN, RGB e Infrarrojo cercano con captura simultánea.
- Ángulo de visión de campo de 69° en el sentido trasversal de la traza y de 42° en el sentido de la traza.

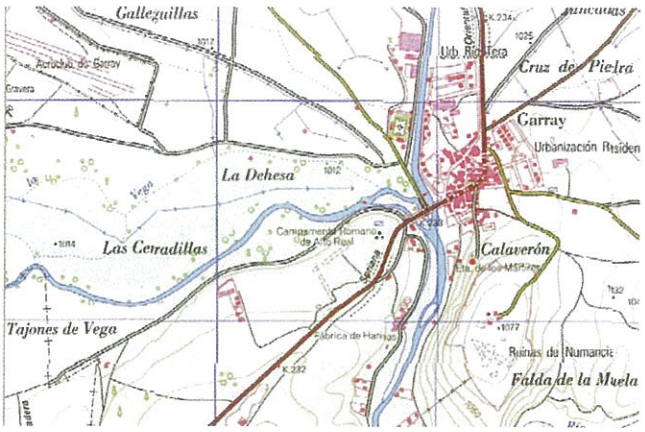


Figura 1. Localización de la zona de pruebas.

En la realización del vuelo se ha empleado una estrategia basada en el seguimiento del eje del cauce a estudiar, empleando el menor número de pasadas posible y buscando optimizar la capacidad de penetración de los datos LiDAR para conseguir la mayor cantidad de información posible del suelo existente bajo la cubierta vegetal.

2.2.3. Procesado de datos

Mediante el procesado de los datos brutos obtenidos por los sensores aerotransportados se ha obtenido la información básica que será empleada en el análisis posterior. En esta fase del trabajo se han obtenido los siguientes productos:

Ortofotografía

Se ha obtenido una ortofotografía de cuatro bandas (RBGIr) con tamaño de píxel de 0,5 m. a partir de las imágenes digitales de 16 bits de resolución radiométrica y el modelo digital del terreno obtenido por LIDAR. Las imágenes a partir de las cuales se ha realizado la ortofotografía se han obtenido sin realizar pan-sharpening para evitar alteraciones radiométricas, por este mismo motivo, no se ha realizado ajuste radiométrico entre imágenes en el proceso de mosaicado.

Figura 2. Vista isométrica de la nube de puntos LIDAR. En verde se representa la vegetación, en naranja el suelo.

Restitución

Ha sido necesario realizar la restitución de los márgenes del río principal, arroyos, perímetros de aguas estancadas, muros y estructuras con la finalidad de mejorar la modelización del cauce y los elementos artificiales.

Figura 3. Ortofotografía RGB con márgenes de ría superpuestos

LiDAR

A partir de los datos LiDAR originales se ha realizado una clasificación para obtener los siguientes productos:

- Modelo digital del terreno.

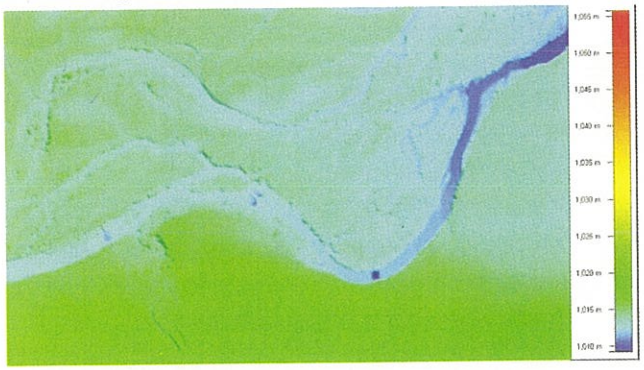


Figura 4. Modelo digital del terreno con la lámina de agua adaptada al nivel de los márgenes obtenidos por fotogrametria.

- Modelo digital de superficie.

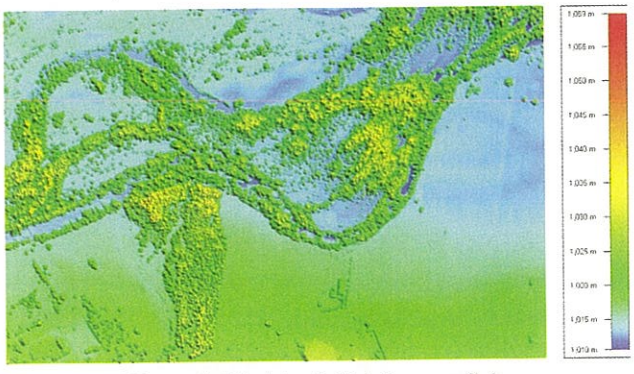


Figura 5. Modelo digital de superficie.

- Modelo digital de vegetación: Este modelo incluye información exclusivamente de la cubierta vegetal, eliminando del mismo los puntos sobre el terreno o sobre elementos antrópicos. Para la realización de este modelo se han combinado algoritmos para clasificación de edificios y algoritmos de clasificación por color, para lo que ha sido necesario asignar a los puntos LiDAR color a partir de la ortofotografía.

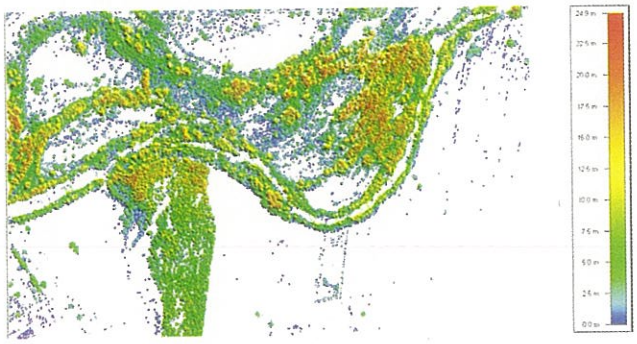


Figura 6. Modelo Digital de Vegetación (MDV)

2.2.4. Análisis de la información

2.2.4.1. *Caracterización de la vegetación de ribera*

Para la caracterización de la vegetación de ribera se ha realizado una clasificación supervisada de la ortoimagen RGBIr. Para ayudar a la clasificación se ha realizado una máscara a partir del modelo de vegetación obtenido por LIDAR, esto permite eliminar de forma previa aquellas porciones de la imagen que muestren suelo desnudo, elementos antrópicos o vegetación herbácea, mejorando los resultados del algoritmo de clasificación. En la imagen clasificada se diferencia entre vegetación arbórea, vegetación arbustiva y plantaciones de árboles. Con esta clasificación se consiguen directamente dos de los objetivos planteados al inicio del proyecto, como son: la diferenciación de los estratos arbóreo y arbustivo y la diferenciación entre la vegetación de ribera y la vegetación climatófila.

A continuación se describe de forma resumida el procedimiento segui-

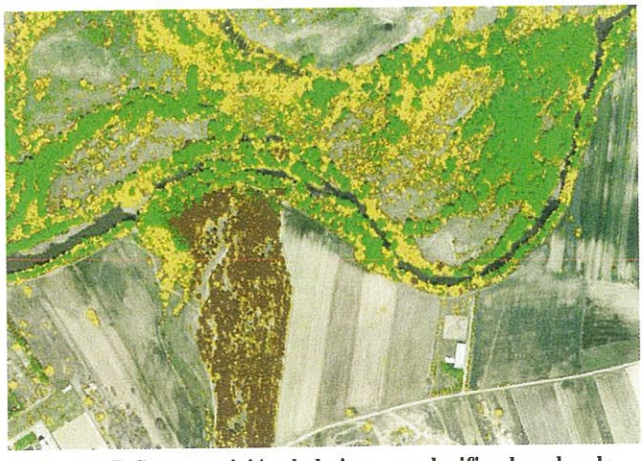


Figura 7. Superposición de la imagen clasificada sobre la ortografía RGB. En verde vegetación arbórea, en amarillo vegetación arbustiva y en marrón plantación de árboles.

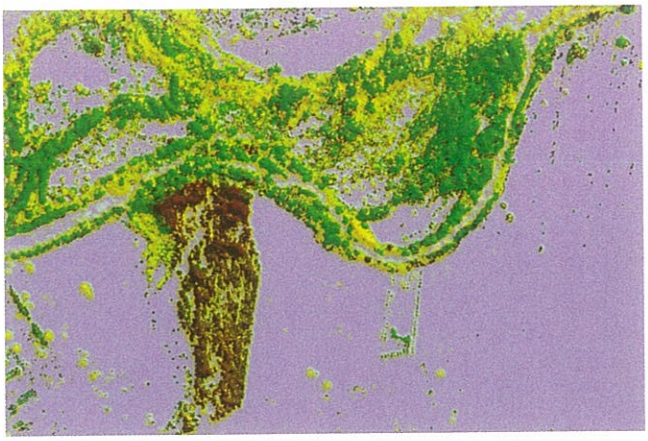


Figura 8. Proyección de la imagen clasificada sobre el modelo de vegetación.

do para el análisis del resto de parámetros.

1. Continuidad longitudinal del bosque de ribera

El análisis de continuidad del bosque de ribera, se puede realizar de forma visual sobre la ortofotografía detectando zonas sin vegetación y diferenciando zonas con vegetación arbórea y arbustiva. También se han empleado herramientas SIG de geoprocesamiento para analizar esta variable, entre estas herramientas resulta de gran utilidad el análisis de áreas de influencia (buffer) del río.

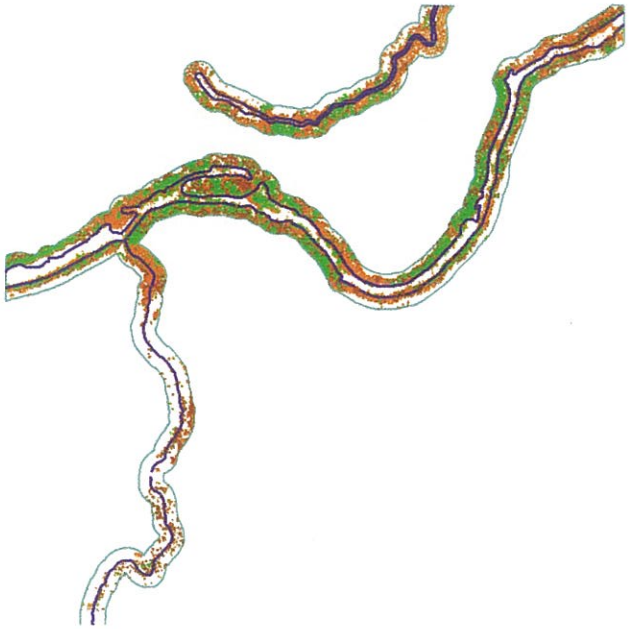


Figura 9. Buffer de 20 m alrededor del cauce. A partir de éste se puede estimar la continuidad de la vegetación de ribera.

Para el análisis de esta variable se ha empleado:

- Ortofotografía RGB u ortofotografía CIR.
- Vectores del margen del río.
- Modelo de vegetación.
- Imagen clasificada.

2. Altura media del bosque de ribera

Se ha analizado numéricamente la altura media de los diferentes estratos definidos en la clasificación de la ortoimagen, para ello se ha incluido el modelo de vegetación (rasterizado con un tamaño de píxel a 0,5 m) como una banda más en la ortoimagen, formando de este modo una imagen de 5 bandas (R, G, B, Ir, MDV). Posteriormente, se ha realizado un análisis estadístico de la banda MDV para cada de una de las clases obtenidas en la clasificación, obteniendo un histograma con la información contenida en la banda MDV.

3. Anchura de la franja riparia

Se han realizado dos análisis distintos. El primero consiste en un análisis estadístico, analizando el porcentaje de ocupación de vegetación dentro de un buffer a una distancia dada del cauce principal. El segundo consiste en un análisis analítico basado en intersección de perfiles transversales al eje del río con respecto al área de la franja riparia.

2.2.4.2. Caracterización de la geomorfología asociada al cauce

Para realizar la caracterización geomorfológica se ha partido de la siguiente información:

- Restitución fotogramétrica de los bordes de los cauces.
- Áreas de la franja riparia en formato vectorial obtenidas aplicando la clasificación a las ortofotografías.
- Perfiles batimétricos tomados en campo.
- Perfiles transversales que intersecan con los bordes del cauce y con los límites de la vegetación.
- Modelo digital del terreno para la estimación de las pendientes del terreno en la zona de la franja riparia.

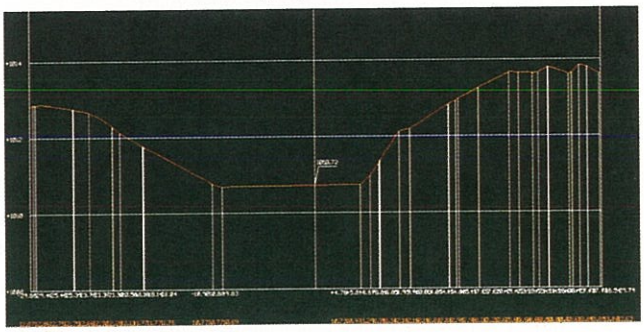


Figura 10. Ejemplo de perfil transversal del MDT en la zona del cauce del río a nivel de la lámina de agua indicando cambios de pendiente superior al 5%

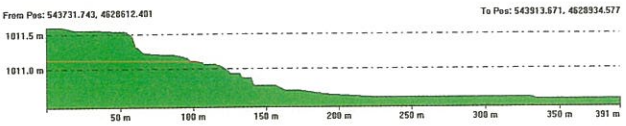
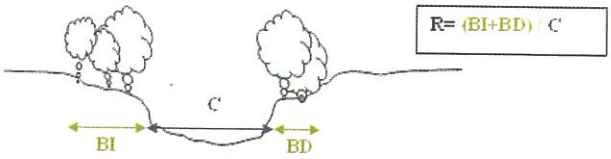


Figura 11. Ejemplo de perfil longitudinal del río.

Las variables que se han determinado son:

1. Anchura del cauce principal y su relación con la anchura de las bandas riparias.

Este parámetro relaciona la anchura de las bandas riparias izquierda y derecha con la anchura del cauce mediante la expresión:

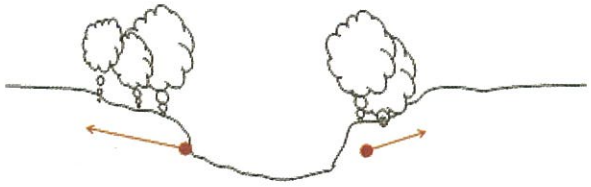


BI = ancho de la banda riparia izquierda
BD = ancho de la banda riparia derecha
C = ancho del cauce del río

Para su cálculo se han empleado perfiles transversales al eje del cauce, localizando los puntos de intersección con los límites de la franja riparia y con el margen del cauce. A partir de las coordenadas de los puntos de intersección se calcula cada una de las distancias necesarias.

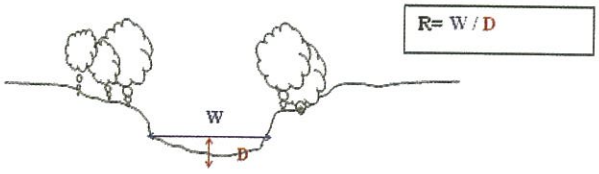
2. Pendientes transversales de la orilla a la llanura de inundación que contienen la vegetación de ribera.

Esta operación se realiza a partir del modelo digital de elevaciones obtenido por LiDAR y los límites del cauce obtenidos por restitución. El procedimiento requiere en primer lugar calcular la cota de los límites de la franja riparia a partir del MDE. Posteriormente, mediante la utilización de perfiles transversales se obtienen las coordenadas 3D de los puntos de intersección del perfil con los límites de la franja riparia y el límite del cauce, a partir de estas coordenadas se calcula el valor de la pendiente.



3. Medición de la profundidad de bankfull, anchura y su relación.

Esta operación se realiza a partir de los perfiles batimétricos y los márgenes del cauce obtenidos por restitución. La anchura de la lámina de agua se obtiene como se ha explicado en los puntos anteriores y la profundidad de bankfull se calcula como la distancia vertical entre un punto en el eje del cauce y su proyección sobre el lecho del mismo.



4. Cálculo de pendientes longitudinales a nivel de thalweg.

Esta variable se calcula a partir de las coordenadas 3D de dos puntos del eje del cauce, calculando la pendiente a partir de la distancia horizontal entre ellos, calculada siguiendo el eje, y la diferencia de cota entre los mismos.

3. CONCLUSIONES

Los objetivos conseguidos con respecto al análisis de la vegetación han sido:

- Generar un modelo geométrico de vegetación, que nos permite conocer su posición, extensión y altura.
- Clasificar la ortofotografía de 4 bandas RGBIr según la respuesta espectral de las cubiertas de vegetación obteniendo 3 clases: Vegetación arbórea, vegetación arbustiva y plantaciones arbóreas.
- Se ha conseguido representar la continuidad longitudinal del bosque de ribera al determinar y diferenciar dicha vegetación en los puntos anteriores.
- Altura media del bosque de ribera
- Diámetro medio de copas
- Anchura de la franja riparia
- No se ha estimado la Biomasa por falta de información sobre su definición, pero sería posible realizar una estimación del volumen parcial de la capa de vegetación.

Los objetivos conseguidos con respecto al análisis geomorfológico han sido:

- Medición de la anchura del cauce principal y su relación con la anchura de las bandas riparias.
- Cálculo de pendientes transversales de la orilla a la llanura de inundación que contienen la vegetación de ribera.
- Cálculo de perfiles longitudinales a nivel de la lámina de agua.
- Medición de la profundidad de bankfull, anchura y su relación.
- Cálculo de pendientes longitudinales a nivel de thalweg.

La metodología propuesta de captura de datos LIDAR junto con la toma simultánea de imágenes digitales de 4 bandas es una fuente de datos apropiada para la modelización de la vegetación de ribera. Una de sus principales ventajas es la gran cantidad de información de alta resolución espacial y espectral que es capaz de tomar en un corto intervalo de tiempo, agilizando la toma de datos frente a las técnicas clásicas basadas en visitas de campo.

No obstante es aconsejable complementar estos datos aéreos con otra información capturada en tierra para la toma de datos de aforos o perfiles batimétricos que permitan modelizar las zonas ocultas por el agua.

Así mismo es necesario validar los resultados de la clasificación automática con datos tomados en campo para estimar la matriz de confusión.

Este proyecto pone de manifiesto la utilidad de los datos obtenidos mediante vuelos combinados con sensores LiDAR y cámaras digitales para aplicaciones hidrográficas y medioambientales, campos en los que se puede aprovechar la alta resolución de la información captada por estos sensores. ■