

Elaboración de cartografía forestal en canarias a partir de datos LiDAR

J. L. Tomé Morán^a, A. Fernandez Landa^a, P. P. Ranz Vega^{a*}

^aAgresta S. Coop.

PALABRAS CLAVE: LiDAR; Estructura de Vegetación; Cartografía; Grandes Superficies; Vegetación, Teledetección.

RESUMEN

La tecnología LiDAR aerotransportada está ampliamente implantada para aplicaciones civiles en las Islas Canarias donde se viene utilizando desde el año 2008 en un proyecto piloto de detección de cambios en el territorio. La disponibilidad de vuelos periódicos en las Islas, desde la puesta en marcha de este proyecto, convierte a la Comunidad Autónoma en un lugar privilegiado para trabajar con estos datos también, en aplicaciones forestales. Mediante el presente proyecto se pretende abordar una metodología de trabajo para generar de manera sistemática una cartografía de estructura de la vegetación que enriquezca la información de las formaciones forestales de Canarias.

Trabajando con los datos LiDAR, se ha generado información continua de cobertura y altura actualizada para todas las masas de las cinco islas con superficie forestal arbolada en Canarias. Esta información nos va a permitir seguir profundizando en el conocimiento de las masas forestales de las Islas, con aplicaciones directas tanto en la conservación ya que pueden servir de base para analizar la cantidad de biomasa y carbono almacenada por los ecosistemas forestales canarios, como en la defensa del

* Contactos: jltome@agresta.org, afernandez@agresta.org, pranz@agresta.org

monte, ya que nos pueden permitir actualizar en un futuro la cartografía de modelos de combustible fundamentales en la lucha contra los incendios forestales.

INTRODUCCION

El LIDAR (Light Detection And Ranging) es un sistema activo de detección remota basado en un escáner laser. Esta tecnología aerotransportada y combinada con un sistema inercial y un GPS trabajando en tiempo real permite calcular la posición de un objeto midiendo el tiempo que transcurre entre la emisión de un pulso laser y su vuelta reflejado en el mismo. Esta capacidad de modelizar el terreno desde el aire de manera continua presenta una ventaja fundamental frente a otros sensores a la hora de estudiar las masas forestales: su capacidad de penetración en la cubierta vegetal; lo que permite capturar de esta forma información de diferentes estratos de vegetación y del suelo.

Esta tecnología abre nuevas e interesantes posibilidades para la descripción de las coberturas vegetales ya que proporciona un volumen enorme de información de la estructura del bosque. Cada uno de los rebotes del láser lo podemos traducir en una altura de la vegetación sobre el suelo y el porcentaje de pulsos laser que no llegan directamente al suelo son una medida muy exacta de la cobertura de la vegetación. Los sensores LIDAR, por tanto, miden directamente tanto la localización vertical como la distribución horizontal de los elementos de las cubiertas vegetales (Fowler, 2000), esto unido a la fuerte correlación que existe entre la altura de la vegetación y algunas características biofísicas como la biomasa total, la densidad de árboles o el volumen de madera (Dubayah, 2000) hacen que el LIDAR se esté convirtiendo en una herramienta imprescindible para la captura de información de las superficies forestales.

Canarias es una región privilegiada en cuanto a la disponibilidad de información LiDAR, ya que dispone de información LiDAR con una densidad de entre 0,5 pulso/ m^2 capturada por el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) en 2009 y de un proyecto piloto para la detección de cambios en el territorio utilizando esta tecnología en el marco del cual la empresa pública GRAFCAN vuela la superficie de las islas con una densidad de 1 pulso/ m^2 periódicamente desde el año 2010 (Rosales y Rodrigo 2012).

La información de los vuelos LiDAR es públicamente visible a través del visor de la Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias (IDECanarias: <http://visor.grafcan.es>). Mediante esta aplicación cualquier usuario puede utilizar una serie de herramientas básicas tales como la visualización 3D de los datos en una zona de interés.

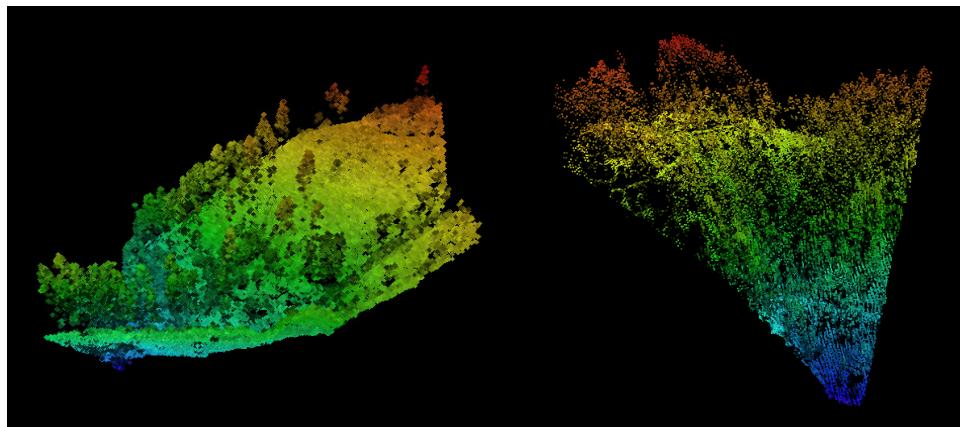


Figura 1 Vista general de una nube de puntos de datos LiDAR en 3D capturada en la isla de Tenerife. Fuente <http://visor.grafcan.es>

La disponibilidad de esta nueva tecnología nos va a permitir obtener nueva información actualizada y hasta ahora muy complicada de obtener por medios convencionales, de cara a enriquecer la información disponible relativa a las masas forestales de Canarias y abre la posibilidad de emplear esta información en la mejora de la cartografía disponible de otras temáticas vinculadas a la estructura de la vegetación tales como Modelos de Combustible o Biomasa.

OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es la generación de información útil de estructura de la vegetación en formato raster y vectorial para enriquecer la cartografía de vegetación disponible en las zonas forestales de las 5 islas más occidentales de Canarias (Gran Canaria, El Hierro, La Gomera, La Palma y Tenerife) a partir de la información LiDAR disponible.

La estructura de la vegetación abarca conceptos tanto de distribución horizontal de los estratos de vegetación: Fracción de cabida cubierta, que aporta información sobre las densidades de las coberturas vegetales; como de la distribución vertical, esto es la composición en altura de los estratos de vegetación.

METODOLOGIA

Para el tratamiento de los datos LiDAR se ha seguido una metodología propia desarrollada por Agresta para el procesado de información LiDAR en grandes superficies:

1. Identificación de superficies objetivo de cada una de las Islas
2. Preparación de los archivos LAS para esas zonas
3. Generación de los Modelos Digitales del Terreno.
4. Normalización de los Retornos procedentes de la vegetación.
5. Cálculo de estadísticos de los retornos de vegetación en píxeles de 25 metros de lado.
6. Incorporación de la información generada a un SIG.
7. Intersección de la información generada con las zonas de trabajo seleccionadas (de ámbito forestal) para cada una de las islas estudiadas: El Hierro, La Palma, La Gomera, Gran Canaria y Tenerife.
8. Depuración de los datos obtenidos para las zonas de estudio.

Se ha seleccionado como información de partida los datos LiDAR capturados por la empresa pública Grafcán en la última campaña disponible para cada una de las islas, clasificados por la propia Grafcán que tiene una amplia experiencia en el procesado de los datos.

Tabla 1 Campañas de vuelo utilizadas para el presente trabajo en las islas seleccionadas

Isla	Nº Bloques (1 Km x 1km)	Año Vuelo
Tenerife	2.419	2012/2013
La Gomera	485	2012
La Palma	883	2011 y 2013
El Hierro	380	2011
Gran Canaria	1.858 53	2011/2012 y 2013
Total	6.078	2011 a 2013

A) Preparación de los archivos LAS

La primera labor necesaria ha sido la revisión y depuración de los archivos LAS generados por GRAFCAN que han sido suministrados para este trabajo desde el Gobierno de Canarias. La información capturada fue clasificada usando el Software de LASGROUND, segregando los retornos correspondientes al suelo (Categoría 2), edificios (Categoría 6) y otros puntos que incluyen la vegetación (Categoría 1 "Sin clasificar"). Esta clasificación de la nube de puntos es un paso fundamental ya que permite diferenciar los retornos de suelo de los de vegetación, edificios u otras infraestructuras y seleccionar así para el análisis la información correspondiente a la vegetación.

B) Generación de los Modelos Digitales del Terreno

Una vez validados los archivos LAS el primer paso del procesado de los mismos es la obtención de Modelos Digitales de Elevaciones.

En este caso concreto el Gobierno de Canarias hizo llegar a Agresta los MDT elaborados por GRAFCAN al mismo tamaño de los bloques (1000mx1000m) con una resolución final de 1 m/pixel.

Tal como se puede ver en la figura 2, la tecnología LiDAR posibilita Modelos Digitales de Elevaciones de enorme precisión.

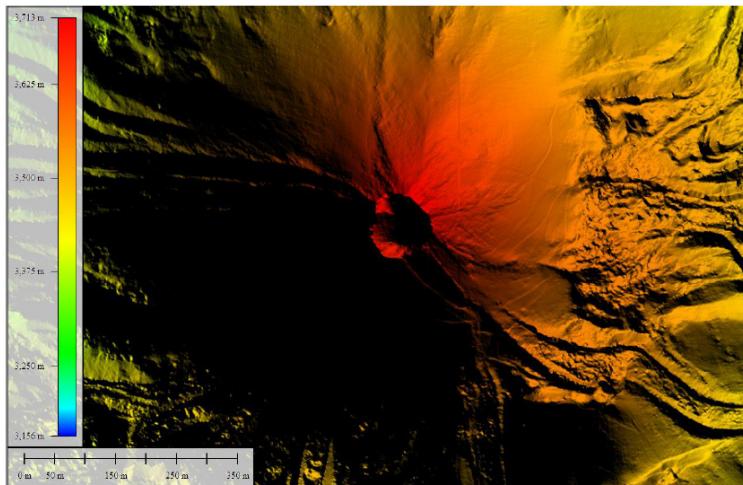


Figura 2 Modelo Digital del Terreno en el entorno del Teide. Fuente: GRAFCAN. Elaboración Agresta

C) Normalización de los retornos procedentes de la vegetación

El proceso de normalización de la vegetación consiste en restar a la altitud del dato Lidar la altitud del terreno para obtener la altura de la vegetación sobre el suelo. Para ello se han utilizado los MDE de 1 m de paso de malla de GRAFCAN suministrados por el Gobierno de Canarias.

De cara a asegurarnos de que únicamente se trabaja con la vegetación, la normalización se ha llevado a cabo trabajando únicamente con los puntos clasificados como suelo y sin clasificar (que incluye a la vegetación). La mayor parte de los retornos sin clasificar corresponden con vegetación, especialmente porque estamos trabajando en zonas forestales y GRAFCAN tiene una muy buena clasificación de las edificaciones. En cualquier caso y dado que no hemos podido trabajar directamente con los retornos de vegetación se ha realizado una depuración posterior.

D) Cálculo de estadísticos de los retornos de vegetación

El estudio de los retornos de la vegetación se ha diseñado trabajando con dos grandes grupos de acuerdo a la siguiente simplificación:

- Arbolado. Toda aquella vegetación que pasa de 2 m
- Matorral. Toda aquella vegetación que está entre los 0,4 m y los 2 m

Para el cálculo de los principales estadísticos del LiDAR para los retornos de vegetación arbórea y de matorral en celdas cuadradas de 25 metros de lado se ha utilizado los desarrollos de software propios de Agresta trabajando sobre la plataforma de FUSION (McGaughey, 2010).

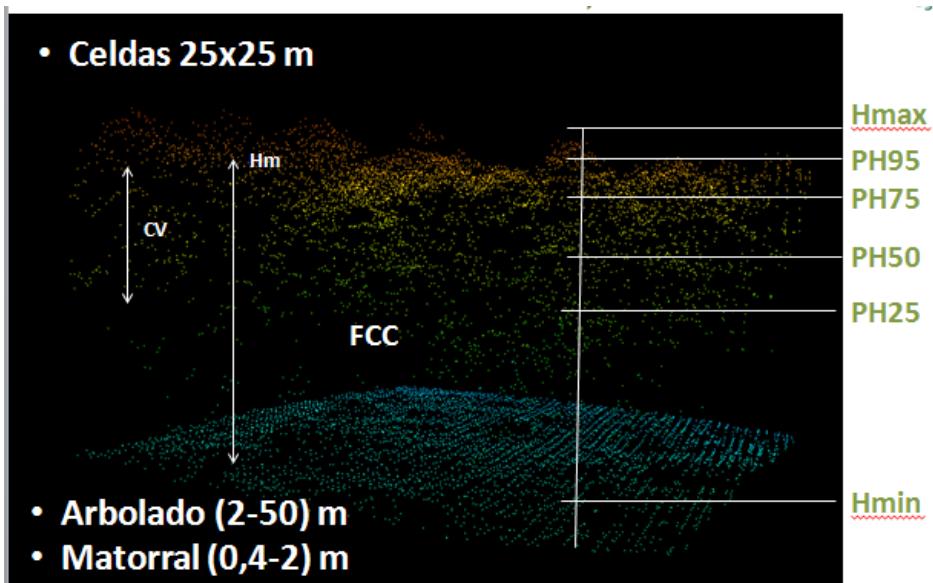


Figura 3 Identificación de estadísticos LiDAR para una parcela cualquiera de vegetación

Tabla 2 Resumen de los principales estadísticos que se extraen de la nube de puntos en cada una de las celdas de 25 metros

Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación y el número de retornos	Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación únicamente
Mínima: Altura mínima de la celda	Número de primeros retornos por encima de la altura mínima (altura mínima la que le definamos en la configuración, 2 metros para el arbolado y 0,4 m)

Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación y el número de retornos	Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación únicamente
Máxima: Altura máxima de la celda	Número segundos retornos por encima de la altura mínima definida
Media: Altura media de la celda	Número terceros retornos por encima de la altura mínima definida
Moda: valor con una mayor frecuencia en una distribución de datos en la celda	Número cuartos retornos por encima de la altura mínima definida
Desviación estándar: raíz cuadrada de la varianza de la celda	Número quintos retornos por encima de la altura mínima definida
Varianza: media de las diferencias cuadráticas de n alturas puntuaciones con respecto a su media aritmética en la celda	Número sextos retornos por encima de la altura mínima definida
Coeficiente de variación: relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable	Número séptimos retornos por encima de la altura mínima definida
Rango intercuartílico: Diferencia entre el tercer y el primer cuartil de una distribución	Número octavos retornos por encima de la altura mínima definida
Skewnees: Mide la asimetría a nivel de celda	Número novenos retornos por encima de la altura mínima definida
Kurtosis: coeficiente de apuntamiento de la celda	Otros retornos por encima de la altura mínima definida
Percentil 1: Altura tal que el 1 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de primeros retornos por encima de la altura de corte definida. Fracción de Cabida Cubierta FCC (2 metros para el arbollado y 0,4 m)
Percentil 10: Altura tal que el 10 % de los retornos están por debajo de ella.	Todos los primeros retornos por encima de la altura de corte definida
Percentil 20: Altura tal que el 20 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de primeros retornos por encima de la altura media
Percentil 25: Altura tal que el 25 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de primeros retornos por encima de la moda
Percentil 30: Altura tal que el 30 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de todos los retornos por encima de la altura media
Percentil 40: Altura tal que el 40 % de los retornos están por debajo de ella.	Porcentaje de todos los retornos por encima de la moda
Percentil 50: Altura tal que el 50 % de los retornos están por debajo de ella.	$100 * (\text{Todos los retornos por encima de la media}) / (\text{Primeros retornos por encima de la media})$
Percentil 60: Altura tal que el 60 % de los retornos están por debajo de ella.	$100 * (\text{Todos los retornos por encima de la moda}) / (\text{Primeros retornos por encima de la moda})$
Percentil 70: Altura tal que el 70 % de los retornos están por debajo de ella.	Número de primeros retornos por encima de la altura media

Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación y el número de retornos	Estadísticos LiDAR relacionados con la elevación únicamente
Percentil 75: Altura tal que el 75 % de los retornos están por debajo de ella.	Número de primeros retornos por encima de la moda
Percentil 80: Altura tal que el 80 % de los retornos están por debajo de ella.	Número de retornos totales por encima de la altura media
Percentil 90: Altura tal que el 90 % de los retornos están por debajo de ella.	Número de retornos totales por encima de la moda
Percentil 95: Altura tal que el 95 % de los retornos están por debajo de ella, muy relacionada con la altura dominante	Número total de primeros retornos en la celda
Percentil 99: Altura tal que el 99 % de los retornos están por debajo de ella.	Número total de retornos en la celda

De cara a eliminar posibles errores derivados de datos anómalos captados por el sensor LiDAR, los cálculos se han hecho con los retornos que van de los 0,4 m a los 2 m para el caso del matorral, y de los 2 m a los 50 m para el caso del arbolado. La altura máxima para los retornos de arbolado se ha seleccionado redondeado por exceso la altura del Pino Gordo de Vilaflor en Tenerife (45,12 m).

El cálculo de los estadísticos para cada una de las celdas se realiza cuando al menos existen tres retornos dentro de la celda dentro de los parámetros marcados. En aquellos casos de celdas sin vegetación (o con menos de tres retornos) dentro de los umbrales de altura seleccionados, se le asigna al estadístico correspondiente el valor de "-9999".

E) Incorporación de la información generada a un SIG

Una vez generados los estadísticos LiDAR para todas las zonas forestales de las Islas se ha procedido a la incorporación de los mismos a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para ello se ha trabajado tanto en formato raster como en formato vectorial.

Se han convertido a formato raster los dos estadísticos de mayor significación forestal directa: Fracción de Cabida Cubierta (porcentaje de primeros retornos que no llegan al suelo) y una aproximación a la altura dominante (percentil 95 de alturas) tanto para el arbolado como para el matorral. La información generada por bloques se ha unido en un único raster para cada Isla con objeto de permitir a cualquier técnico manejar la información con agilidad.

Para trabajar vectorialmente hemos utilizado un desarrollo de software propio de Agresta desde el que se han generado geometrías a partir de las coordenadas de las celdas de 25x25 m, a las que se han incorporado los datos de los estadísticos calculados. Desde Agresta se ha trabajado originalmente con geodatabases en formato *.mdb; sin embargo estas geodatabases, de cara a la entrega se han convertido al standard de intercambio shapefile, para posibilitar su uso por cualquier persona independientemente del programa y la versión de SIG que utilice.

F) Intersección de la información generada con las zonas de Trabajo

El objeto del presente trabajo son las áreas Forestales de las Islas. La zona de trabajo se ha pactado de común acuerdo con los técnicos del Gobierno de Canarias para cada una de las Islas. Una vez realizada la depuración de los datos la información raster se va a presentar cortada por el área de trabajo definida para cada una de las islas.

Para el caso de los datos shapefile y debido a que las capas vectoriales son muy pesadas por la enorme cantidad información generada, se han generado bloques de trabajo que permitan manejar la información con mayor agilidad por parte de los software SIG. Se han seleccionado tamaños de 2 km x 2 Km para las Islas más Pequeñas (El Hierro y la Gomera) y de 4 Km x 4 Km para el caso de las islas mayores (Tenerife, Gran Canaria y La Palma) como se puede apreciar en la figura 3.

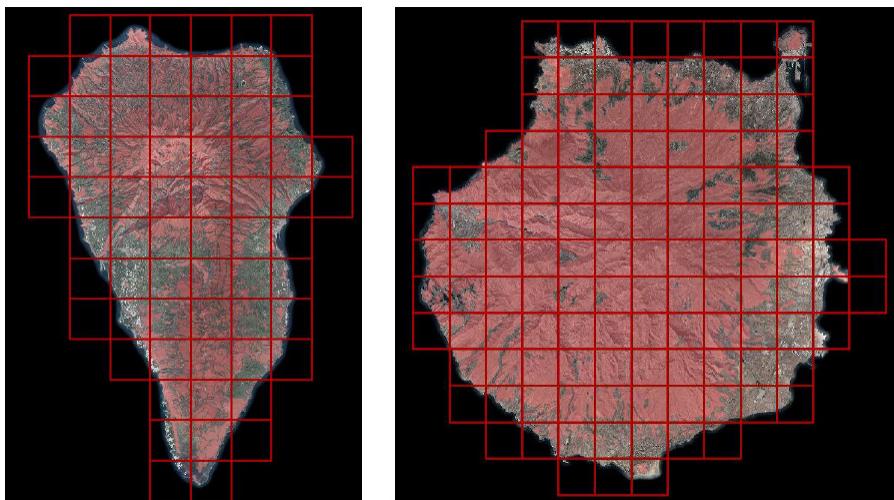


Figura 4 En rojo, se identifican las zonas de trabajo definidas para Gran Canaria y La Palma. La malla muestra cómo se agrupó la información en formato shape en bloques de 4km x 4km

G) Depuración de los datos obtenidos para los terrenos forestales

Fundamentalmente hay dos factores que pueden afectar a la calidad de los resultados obtenidos, pudiendo llegar a condicionar la fiabilidad de los mismos: pendiente y errores de clasificación de los datos.

- Cuando nos encontramos vegetación en zonas de cortados o pendientes extremas pueden darse errores al restar la altura de la vegetación de la altura del retorno del terreno que podría llegar a estar por debajo del punto donde está la base de la vegetación en cuestión, tal como se puede apreciar en la figura 4. Esto mismo puede pasar incluso cuando el pulso colisiona en borde de una roca, en zonas de grandes pendientes y acantilados con una representación importante dado lo abrupto del relieve de las Islas.
- Aunque la información de las capas finales seleccionadas tiene una alta fiabilidad gracias a un buen trabajo de clasificación por parte de GRAFCAN y a que en este tipo de terrenos hay una presencia baja de infraestructuras, todavía nos podemos encontrar elementos puntuales en los que los defectos de la clasificación de los retornos recibidos puedan suponer errores de interpretación de los datos (ver figura 4). Dado el tipo de infraestructuras que nos solemos encontrar en el ámbito agro-forestal: antenas, aerogeneradores, torretas de alta tensión, etc. el que los retornos procedentes de estas infraestructuras estén clasificados como vegetación, nos puede dar errores que afectan fundamentalmente a los valores de las alturas de la vegetación.

Para corregir los posibles defectos derivados de estos factores hemos diseñado un procedimiento específico para el caso de Canarias trabajando con la información de apoyo que contamos para este caso concreto. Para ello en primer lugar hemos trabajado con la Foto Fija elaborada para 2009 por el equipo del Mapa Forestal de España. Esta foto fija es una actualización del mapa forestal elaborado por la Administración General del Estado Español en el año 2002.

Hemos usado esta información para detectar las zonas donde el LiDAR nos estaba dando posibles errores en cuanto a cobertura del arbolado y depurarlos, obteniendo así una FCC corregida para esas zonas.



Figura 4 Ejemplo de error por pendiente (izquierda) y por presencia de aerogeneradores localizados en celdas de terreno agroforestal (derecha)

Por otro lado se ha estudiado el comportamiento de los datos LiDAR en las zonas de pendiente, utilizando modelos de pendientes con una resolución de 10 m para todas las islas. La experiencia nos ha demostrado que hay un error sensible en los datos de alturas y coberturas del arbolado con LiDAR cuando las pendientes exceden el 70 %. Se ha corregido la altura y cobertura en todas las zonas donde aparecen datos por error debidos a la pendiente y se han identificado todas las celdas donde esto puede condicionar la validez de los datos obtenidos de cara a que los técnicos que utilicen los resultados puedan tenerlo en cuenta.

Identificados los posibles problemas por pendientes, se ha trabajado en la localización de aquellas celdas en las que infraestructuras puntuales tales como torres eléctricas etc., hayan podido generar valores erróneos de altura dominante. Para ello hemos empleado la información relativa a infraestructuras que ha proporcionado Grafcán a través del Gobierno de Canarias. Esta información contenía la ubicación de las infraestructuras puntuales, lineales y superficiales para todas las islas estudiadas. Se ha contrastado en todos los casos si hay infraestructuras o no afectando a los resultados de las alturas y coberturas de cara a un adecuado manejo futuro de la información, teniendo identificados posibles valores anormales..

Por último se han revisado todos los archivos correspondientes a los bloques objetivo (que intersectan las zonas de estudio forestales), analizando todas las celdas donde los datos del percentil 95 de altura supera una altura objetivo.

RESULTADOS

A partir de los datos LiDAR se ha generado, por primera vez en Canarias una cartografía continua y precisa de alta resolución (25 metros de lado de pixel) de estructura de la vegetación en las zonas de trabajo definidas; en total unas 360.000 ha lo que supone un 72,5 % del total de la superficie de las cinco islas estudiadas.

Tabla 3 Superficies de trabajo para la que se dispone de datos de estructura de vegetación

Isla	Sup. Arbolado (ha)	Sup. Desarbolado (ha)	Sup. Total Forestal analizada (ha)	Superficie Total de la isla (ha)
Tenerife	54.886,47	91.211,20	146.097,67	203.438
La Gomera	13.005,41	21.104,93	34.110,34	36.976
La Palma	37.901,86	14.773,68	52.675,54	70.832
El Hierro	6.676,84	13.694,29	20.371,13	26.871
Gran Canaria	21.307,17	84.592,40	105.899,57	156.010
Total	133.777,75	225.376,50	359.154,25	494.127

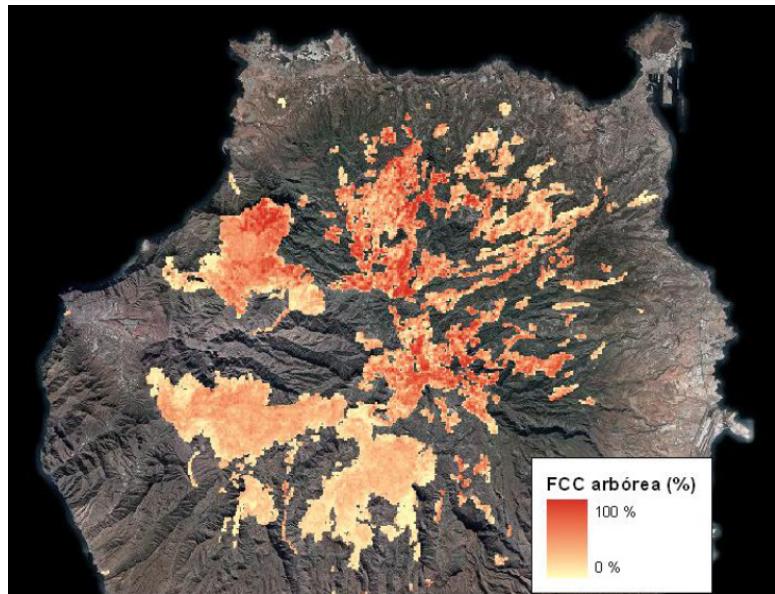


Figura 5 Ejemplo de cartografía de FCC arbórea para la isla de Gran Canaria

Esta cartografía referida a estructura de vegetación aumenta de forma considerable la información sobre los ecosistemas vegetales canarios, permitiendo afrontar de una manera más eficaz la gestión de los mismos.

Además de la información continua de altura y cobertura de la vegetación tal como se ha explicado disponemos de una batería de estadísticos relativos a la estructura de la vegetación que posteriormente podrían servir de base para la estimación de existencias de madera, biomasa, biodiversidad, carbono, etc.,

Esta información está llamada a servir de base para desarrollar cartografía de caracterización de modelos de combustible mediante el ajuste y la aplicación de modelos matemáticos que relacionen las variables de estructura de masa del LIDAR con variables medidas en campo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La aplicación de la tecnología LiDAR como fuente de datos en los procesos de generación de información de estructuras de la vegetación asociada al territorio es probablemente uno de los avances más significativos en sensores remotos de la última década (Shand & Toth, 2009). Su incorporación a las fuentes habituales de información no está llamada a sustituirlas sino a ser un complemento para compensar donde no llegan las fuentes pasivas tales como la fotografía, incrementando así nuestro conocimiento del medio natural.

A través del procesado de esta información LiDAR podemos tener acceso a información de estructura de vegetación que nos permite generar información útil para multitud de campos de interés forestal, desde trabajar con modelos de combustible y simulación del comportamiento del fuego (Gonzalez et al, 2012), hasta índices de calidad de ribera (Magdaleno et al, 2010), pasando por estimación de biomasa y sumideros de carbono (García et al., 2010), crecimientos (Yu et al; 2004), conservación y análisis de hábitats (Mundt et al; 2006) y por supuesto inventario forestal (Hyyppä et al 2008).

En España en general tenemos la ventaja de ser uno de los únicos países con cobertura LiDAR a nivel nacional desde que en 2009 el PNOA se planteó la necesidad de la obtención de modelos digitales de alta precisión, obtenidos por tecnología LIDAR, con fines fundamentalmente de ingeniería civil, cartografía de áreas de inundación, etc. Y dentro de este contexto, Canarias tiene una situación aún más privilegiada dado que está previsto disponer de datos periódicos con el doble de densidad que los vuelos

del PNOA, lo que tal como hemos visto tiene un enorme potencial para aplicaciones ambientales y forestales.

Los técnicos del Gobierno de Canarias y de los Cabildos Insulares disponen ya a día de hoy a través de los resultados generados en el presente trabajo de una cartografía continua de la estructura de la vegetación (altura dominante y FCC) que complementa la información del territorio que han venido manejando hasta ahora.

Además, como se ha mencionado mientras que en la mayor parte de las Comunidades Autónomas se puede utilizar el LiDAR para obtener una imagen puntual de cómo es la estructura de la vegetación en el momento del vuelo, en Canarias además se tiene la posibilidad de comparar el resultado de distintos vuelos, analizando los cambios detectados en cuanto a estructura de vegetación de un momento a otro.

Esta oportunidad que se dispone en la región canaria puede ser utilizada, y está empezando a serlo, para distintos fines, tales como:

- Generación de cartografías actualizadas de modelos de combustible de la vegetación. El desarrollo de metodologías que utilicen entre otras variables y herramientas el uso de LiDAR permitirá por un lado acometer la consecución de cartografías de vegetación precisas y por otro que éstas sean fácilmente actualizables en el tiempo.
- Seguimiento de la evolución de los ecosistemas forestales. Actualmente existe una gran necesidad por los diferentes gestores de espacios naturales amenazados o vulnerables de realizar un seguimiento periódico de su estado y evolución. El desarrollo de sistemas que utilizando LiDAR y teledetección permitan realizar comparaciones de resultados en diferentes momentos en el tiempo, permitiría identificar como y cuánto se desarrollan los ecosistemas forestales terrestres.
- Desarrollo de sistemas para el cálculo y seguimiento del balance, fijación y huella de carbono de las islas. Los ecosistemas forestales funcionan como grandes fijadores de CO₂; es posible contabilizar las cantidades de CO₂ almacenadas por los mismos a partir de inventarios desarrollados mediante LiDAR e incluir esta cuantificación en metodologías que permitan comprobar el crecimiento de los balances de carbono de una región cualquiera

- Cuantificación e inventario de las masas forestales arbóreas de las islas canarias para la planificación de una adecuada gestión y ordenación de las mismas. Mediante el procesado de datos LiDAR es posible obtener parámetros forestales, tales como FCC arbórea y de matorral, altura dominantes, Volúmenes de madera, Cantidades de biomasa..., absolutamente necesarios para una correcta gestión de los bosques.

REFERENCIAS

- [1] DUBAYAH, R. O.; KNOX, R. G.; HOFTON, M. A.; BLAIR, J. B. & DRAKE, J. B.; 2000. Land surface characterization using lidar remote sensing. In M. Hill & R. Aspinall (Eds.), Spatial information for land use management, Singapore International Publishers Direct.
- [2] FOWLER, R. (2000). The low down on LIDAR. Earth Observation Magazine, January 2000.
- [3] GARCÍA, M., RIAÑO, D., CHUVIECO, E. Y DANSON, F. M.; 2010. Estimating biomass carbon stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data. Remote Sensing of Environment, Vol. 114 (4), pp.816-830.
- [4] GONZÁLEZ, J.M., Piqué, M., Vericat, P.; 2006. Manual de Ordenación por Rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales. Centro Tecnológico Forestal. Solsona, Lérida
- [5] HYYPÄ, J., HYYPÄ, H., LECKIE, D., GOUGEON, F., YU, X.Y MALTAMO, M.; 2008. Review of methods of smallfootprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. International Journal of Remote Sensing, Vol. 29 (5), pp. 1339-1366.
- [6] MAGDALENO, F.; MARTÍNEZ, R.; ROCH, V.; 2010. Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. Ingeniería Civil 157: 85-96.
- [7] MACGAUGHEY, R.J.; 2010. FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization. VER 2.90. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, University of Washington. 159 p Seattle.
- [8] MUNDT, J. T., STREUTKER, D. R. Y GLENN, N. F.; 2006. Mapping sagebrush distribution using fusion of hyperspectral and LiDAR classifications. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 72 (1), pp. 47-54.
- [9] ROSALES, J.J. y RODRIGO, J.J.; 2012. Tecnología LiDAR aplicada a la gestión del territorio. Tierra y Tecnología, nº 41: 57-59
- [10] YU, X., HYYPÄ, J., KAARTINEN, H. Y MALTAMO, M.; 2004. Measuring the growth of individual trees using multi-temporal airborne laser scanning point clouds. ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", pp 204-208