

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA**  
**Y TOPOGRÁFICA**



**Grado en Geomática y Topografía**  
**Trabajo Final de Grado**

**Elaboración de modelos de**  
**biomasa forestal a partir de datos**  
**LiDAR**

**Alumno:**  
**Eladio Saiz Carrasco**  
**Tutor:**  
**Luis Ángel Ruiz Fernández**

**Valencia, julio 2016**



## INDICE

Resumen.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
1. Objetivos.....	6
2. Software utilizado.....	7
2.1. FUSION.....	7
2.2. STATGRAPHICS.....	10
DATOS LIDAR.....	11
3. Área de estudio.....	11
4. Precisión y resolución.....	12
5. Formato de los datos. Proyección.....	12
6. Adquisición.....	12
6.1. Avión de vuelo. Instrumentación y métodos.....	12
6.2. Adquisición del LIDAR.....	13
6.3. Levantamiento topográfico. Instrumentación y método.....	13
6.4. GPS cinemático y datos IMU.....	14
7. Precisión y resolución LIDAR.....	14
7.1. Precisión del punto laser.....	14
7.2. Densidad/Resolución de los datos.....	15
7.2.1. Valores de densidad del primer retorno.....	15
7.2.2. Valores de densidad de los puntos terreno.....	16
8. Ortoimagen.....	18
9. Notas.....	18
INVENTARIO DE CAMPO.....	19
10. Parcelas de muestreo.....	19
11. Variables forestales.....	21
CREACIÓN, COMPROBACIÓN Y RESULTADOS DE LOS MODELOS.....	24
12. Organización de archivos.....	24
13. Generación de los modelos.....	25
13.1. Metodología.....	25
13.2. Proceso.....	26
13.2.1. FUSION.....	27
13.2.2. STATGRAPHICS.....	29
13.4. Comprobación de modelos.....	30
13.5. Creación de los modelos para toda la zona.....	31



CONCLUSIONES.....	42
Bibliografía.....	45
ANEXO.....	47
A.    Resultados estadísticos de los modelos.....	47
1.    Biomasa aérea (Above Ground Biomass).....	47
1.1.    Modelo general.....	47
1.2.    Folds.....	49
2.    Área Basimétrica (Basal Area).....	54
2.1.    Modelo general.....	54
2.2.    Folds.....	56
3.    Diámetro medio cuadrático (Quadratic Mean Diameter).....	61
3.1.    Modelo General.....	61
3.2.    Folds.....	63
4.    Índice de densidad standard (Stand Density Index).....	68
4.1.    Modelo general.....	68
4.2.    Folds.....	70
5.    Volumen.....	75
5.1.    Modelo general.....	75
5.2.    Volumen folds.....	77
6.    Altura del dosel (Canopy height).....	82
6.1.    Modelo General.....	82
6.2.    Folds.....	84
7.    Altura de la cubierta de copas (Canopy Base Heigh).....	89
7.1.    Modelo general.....	89
7.2.    Folds.....	91
8.    Densidad aparente de copas (Canopy Bulk Density).....	96
8.1.    Modelo general.....	96
8.2.    Folds.....	98
9.    Carga de combustible en la copa (Canopy Fuel Load).....	103
9.1.    Modelo general.....	103
9.2.    Folds.....	105
B.    VUELO.....	110
C.    FUSION.....	112



INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Área de estudio de Panther Creek, sobre MDE de 30m de resolución.....	11
Figura 2. Configuración de líneas de vuelo, sobre MDE de 30m.....	13
Figura 3. Posición de las estaciones base.....	13
Figura 4. Localización de los puntos medido con RTK, visualizados sobre ortoimágenes.....	14
Figura 5. Histograma de densidades del primer retorno.....	15
Figura 6. Datos LIDAR sin outliers. Parte.....	27
Figura 7. Nube de puntos del terreno.....	28
Figura 8. Modelo Digital del Terreno.....	28
Figura 9. Parcela de muestreo para calcular las métricas.....	29



## Resumen

Se expone la metodología necesaria para la obtención de modelos para la estimación de variables forestales obtenidos de un vuelo LIDAR. La metodología sigue los pasos siguientes: la obtención del modelo digital de elevaciones para la zona de estudio, extracción de la métrica para cada parcela de muestreo, 84 parcelas en total; tercero generación de los modelos de estimación para las diferentes variables forestales, y por último la aplicación de dichos modelos a áreas más extensas. La zona de estudio se sitúa en Estados Unidos, en el estado de Oregon, en la zona conocida de Panther Creek, y comprende un área aproximada de 2.258 Ha. El vuelo LIDAR tiene una densidad de puntos de 8 pto/m<sup>2</sup>. Para la generación de los correspondientes modelos se emplea el método de regresión múltiple paso a paso. A lo largo de este trabajo se explicará con más detalle, cada uno de estos pasos. Por último se obtienen unos resultados de R<sup>2</sup> entre 0.70 y 0.80.



## INTRODUCCIÓN

La tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging), es un sistema de teledetección que se basa en la medición del tiempo transcurrido entre la emisión de un pulso de energía y su llegada al sensor, después de haberse reflejada en algún elemento de la superficie terrestre o desde algún objeto que se encuentra sobre ésta. Estos datos contienen información de las coordenadas de los puntos donde se producen los distintos reflejos, tanto si se produce en el suelo como en cualquier objeto en altura, como es el caso de la vegetación y edificios, y por tanto se conocerá la posición de los objetos y a partir de los cuales se podrán crear distintos modelos.

Con esta información es posible transformar los datos registrados y estudiar su distribución para obtener datos de la cubierta forestal o de cualquier otro objeto por encima de la superficie terrestre y definir la topografía del suelo. De esta manera se pueden obtener diferentes modelos digitales: modelo digital de elevación (MDE), modelo digital de superficie (MDS), modelo digital de la vegetación (MDV) y sus derivados. Estos datos, aplicados a diferentes modelos, se podrían aplicar a estudios diversos: creación de modelos hidrológicos (Cobby et al., 2001; Casas et al., 2006), extracción de edificios (Sohn y Dowman, 2007), cambios en la arena de la playa (Shrestha et al., 2005) y, fundamentalmente, aplicaciones forestales (Li et al., 2008; García et al., 2010). Actualmente las técnicas LIDAR permiten ser utilizadas en un gran abanico de aplicaciones, tanto forestales, como topográficas. Además si se combinan con otras técnicas, como son los sistemas de información geográficos, se puede aumentar la capacidad de análisis y por tanto los diferentes tipos de modelo, lo que a su vez mejorará la toma de decisión a la hora de realizar los estudios.

Al combinar tecnología LIDAR con el inventario forestal obtenido por metodología clásica se consigue una mejora de la calidad y de la exactitud de los resultados del inventario forestal a nivel de masa. Además, con esta combinación se obtiene variables silvícolas necesarias para gestionarla de forma más económica, puesto que no es necesario realizar tantas parcelas de muestreo como en el inventario convencional

### 1. Objetivos.

El objetivo del presente trabajo es la obtención de modelos de la cubierta vegetal y sus variables forestales obtenidos a partir de dos fuentes. Los datos de campo y los datos LIDAR.

Los datos de campo se obtienen directamente del inventario forestal clásico, sobre unas parcelas de muestreo. Para ello se replantean e inventarían áreas, normalmente, circulares distribuidas por toda el área de estudio.

Los datos LIDAR se obtienen desde un sensor aerotransportado, y son procesados en gabinete, después se les aplica diferentes funciones para obtener diferentes archivos de salida. El MDT normalizado junto con la métrica de la nube de puntos, serán los más importantes, y los que creen el modelo estadístico.

La parte estadística, servirá para conocer la fiabilidad en la generación modelos a partir de la métrica de las nubes de puntos. Estos modelos, permitirán modelizar, para la obtención de variables forestales, todo el área de estudio.

Por último se construye el modelo obtenido para obtener las diferentes variables en toda la zona de estudio.



Estos modelos servirán para conocer por ejemplo, como se estructura la vegetación, mejorar el conocimiento y la gestión de las masas forestales, el estudio del riesgo de incendios, etcétera, a partir de la información suministrada por dichos modelos.

## 2. Software utilizado.

Para la realización de este trabajo se han utilizado tres software. El primero es el FUSION, usado para el tratamiento de los datos LIDAR, y el segundo el Statgraphics, para la creación de modelos estadísticos y de regresión. Y por último ArcGis para la creación de los modelos en toda la zona de estudio.

Aparte de los mencionados se han usaron herramientas del paquete office, editor de textos para la elaboración de documentos y el software inicial (por la empresa encargada del vuelo) para el procesado de los datos brutos del sensor LIDAR.

### 2.1. FUSION

FUSION es un software desarrollado por la USDA (United States Department of Agriculture, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), bajo la dirección de Robert J. McGaughey. Dicho departamento se encarga de la gestión de los recursos forestales del país. Y desarrollado por la necesidad de comprender, explorar y analizar los datos LIDAR.

El software se divide en dos programas principales (FUSION y LDV) y una lista de comandos con tareas específicas. La interfaz, FUSION, consiste en: una ventana de visualización gráfica 2D, una ventana de control y soporta una gran variedad de datos y formatos. La segunda, LDV (LIDAR data viewer) proporciona un entorno de visualización 3D y la posibilidad de realizar medidas sobre el conjunto de datos espaciales. La lista de comandos permite análisis específicos y diferentes procesos.

En FUSION los datos están clasificados en seis categorías: imágenes, datos en bruto, puntos de interés, hotspots, árboles, y modelos de superficies.

LDV ofrece varias funciones y permite realizar mediciones dentro de la nube de datos

Tanto FUSION como LDV tienen sus propios controles de teclado y de ratón. Para el caso de FUSION es necesario que esté cargada una imagen.

La utilidad de la línea de comandos, es que proporcionan capacidad de procesamiento incluyendo filtrado de puntos, conversión de datos, y la evaluación de la calidad para grandes lotes de datos LIDAR. Estas líneas se suelen ejecutar desde el símbolo del sistema o mediante uso de programas por lotes (archivos de extensión bat). Los programas de FUSION-LTK generalmente tienen parámetros obligatorios y opcionales, así como switches para controlar las opciones del proceso.

Existen varios switches comunes a todos los programas de FUSION-LTK que son los siguientes, para conocer con detalles cada uno de ellos, consultar el anexo I:

- Interactive
- quiet.
- verbose
- NewLog
- log: *name*
- versión:
- locale:

Las líneas de comandos y de procesamiento de programas se agrupan en seis tipos:



- Punto: funciona con datos de puntos.
- Superficie: opera en las superficies.
- Imagen: opera en las imágenes.
- Conversión: convierte los datos de un formato a otro.
- Información: proporciona información descriptiva de una fuente de datos.
- Miscelánea: diversos servicios.

El conjunto actual de programas se ocupa de la mayoría de las tareas que normalmente son necesarias cuando se obtienen datos LIDAR. A continuación se resumen los usados en este proyecto y en el orden que son usado; el resto de los programas están expuestos en el anexo 1:

Catalog	Punto	Crea un reporte describiendo el conjunto de datos LIDAR y opcionalmente todos los archivos de FUSION
---------	-------	--

Comando: *Catalog [switches] datafile [catalogfile]*

*Datafile*: archivo del cual se quiere obtener el catalog. Si tenemos varios archivos se puede crear y usar un archivo de texto (extensión txt) con la ruta a los diferentes archivos las.

*Catalogfile*: archivo de salida. Si no se especifica tendrá el mismo nombre que el datafile con extensión csv.

FilterData	Punto	Aplica varios filtros a los retornos.
------------	-------	---------------------------------------

Sintaxis: *FilterData [switches] FilterType FilterParms WindowSize OutputFile InputFile*  
Switches:

*/minsd:#*: Desviación estándar mínima del filtro a aplicar para los puntos dentro de la ventana de comparación.

*/minpts:#*. Mínimo número de puntos en la ventana de comparación necesarios para aplicar el filtro.

*FilterType*: Algoritmo de filtrado usado para eliminar los retornos de los archivos de entrada.

Outlier: elimina retornos por encima o por debajo de la elevación media  $\pm$  *FilterParms*\* la desviación estándar de las alturas.

*FilterParms*: parámetros específicos al método de filtrado. Para los outlier se aplica multiplicando por la desviación estándar.

*WindowSize*: Tamaño de la ventana usada para calcular la desviación estándar.

*Output*: fichero de salida

*Inputfile*: fichero de entrada. O fichero txt con la ruta a los distintos archivos las.

GroundFilter	Punto	Filtra la nube de puntos para identificar a los puntos del terreno
--------------	-------	--



Comando: *GroundFilter [switches] outputfile cellsize datafile1 datafile2*

*Switches:*

*/Gparam* valor del parámetro g en la ecuación de pesos

*/Wparam* valor del parámetro w en la ecuación de pesos.

*Output:* fichero de salida

*Cellsize:* tamaño de ventana

*Inputfile:* fichero de entrada

GridSurfaceCreate	Punto	Crea una modelo de superficie en forma de rejilla a partir de puntos
-------------------	-------	--

Comando: *GridSurfaceCreate [switches] surfacefile cellsize xyunits zunits coordsys zone horizdatum vertdatum datafile1 datafile2...*

*surfacefile* nombre del archivo de salida con extensión\*.dtm

*cellsize:* tamaño de la ventana para generar el mdt

*xyunits:* unidades de las coordenadas x e y. M para metros

*zunits* unidades de la coordenada z. M para metros.

*coordsys* sistema de coordenadas para la superficie. 1 para UTM

*zone* huso del sistema de coordenadas. 10 para la zona de EEUU.

*horizdatum* datum horizontal. 1 para NAVD83

*vertdatum* datum vertical. 2 para NAVD88

*datafile1.* Archivo las de entrada. Se puede crear un txt para indexar todos los archivos las.

ClipData	Punto	Recorta diferentes muestras usando las esquinas inferior izquierda y la superior derecha
----------	-------	--

Comando: *ClipData [switches] InputSpecifier SampleFile [MinX MinY MaxX MaxY]*

*Switches*

*/shape:#* donde # especifica el tipo de área de la submuestra-0 para área circular, 1 para área rectangular.

*/dtm:*file indica la ruta al archivo mdt con extensión dtm de FUSION. Se usa para normalizar las alturas respecto al modelo del terreno.

*/zmin:* se tienen en cuenta todos los valores por encima de la elevación establecida.

*/height* Convierte las elevaciones de los puntos en alturas sobre el mdt. Siempre se usa con */dtm*

*InputSpecifier:* fichero de entrada. O fichero txt con la ruta a los distintos archivos las.

*SampleFile:* nombre del archive de la submuestras

*MinX MinY MaxX MaxY* Coordenadas de los límites del área de la submuestra.



CloudMetrics	Punto	Calcula la métrica para un conjunto de datos LIDAR
--------------	-------	--

Comando: *CloudMetrics [switches] InputDataSpecifier OutputFileName*

*InputDataSpecifier*: fichero de entrada. O fichero txt con la ruta a los distintos archivos las.

*OutputFileName*: fichero de salida

## 2.2. STATGRAPHICS

STATGRAPHICS Centurion es una herramienta de análisis de datos que combina procedimientos analíticos con gráficos. Incluye funciones estadísticas avanzadas, capaces de proporcionar rigurosos análisis.

STATGRAPHICS Centurion incluye procedimientos para:

- Estadística básica y Análisis exploratorio de datos
- Análisis de la varianza y Regresión
- Control estadístico de procesos (Análisis de la capacidad, Gráficos de control, Análisis de sistemas de medición)
- Diseño de experimentos
- Seis Sigma
- Análisis de la fiabilidad y Datos de vida
- Métodos multivariantes y no paramétricos
- Análisis de series temporales y predicción

## DATOS LIDAR.

En este apartado se van a exponer diferentes datos del vuelo.

A partir de aquí vamos a centrarnos en los datos LIDAR correspondientes a nuestro proyecto. Es decir, a la zona de Panther Creek en Oregón, EEUU.

### 3. Área de estudio.

Publicado por Watershed Sciences, Inc. Dicha empresa obtuvo datos LIDAR (Light Detection and Ranging) del área de estudio denominada Panther Creek (Oregon, EEUU) para la Oficina de Gestión del Suelo de los Estados Unidos. Los datos LIDAR fueron obtenidos el 15 de Julio de 2010. El área cubierta por los datos LIDAR, sobre un área de interés (AOI, por su acrónimo en inglés), con una superficie total de 2.258 Ha y para asegurar la total cobertura de los datos, el área total sobrevolada (TAF, por sus siglas en inglés) es de 2.428 Ha.

En la figura 1 se muestra la localización de la zona de estudio y las diferentes áreas sobrevoladas. En rojo tenemos el área TAF y en amarillo el área AOI.

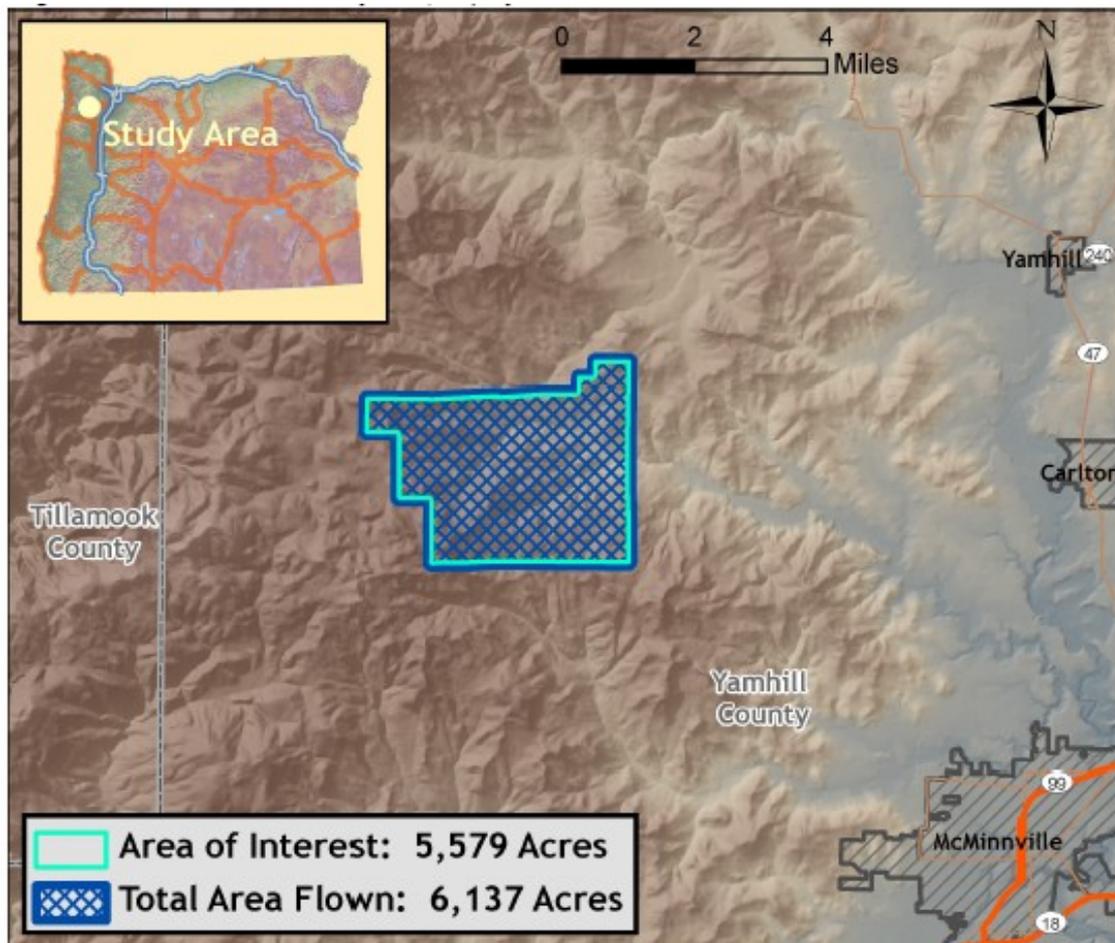


Figura 1. Área de estudio de Panther Creek, sobre MDE de 30m de resolución.

#### 4. Precisión y resolución

La precisión de los datos LIDAR viene en las tablas 1 y 2.

Las especificaciones de los datos son para  $\leq 8$  puntos por metro cuadrado.

RMSE (m)	1-sigma (m)	2-sigma (m)
0.03	0.03	0.06

Tabla 1. Error medio cuadrático para densidad de 8pts/m<sup>2</sup>

Las estadísticas de la media total y de la densidad de pulso son:

Densidad total de pulsos	Densidad de pulsos en tierra
20.01	0.64

Tabla 2. Densidad total y de pulso

#### 5. Formato de los datos. Proyección.

La proyección usada es la UTM 10N, con el Datum NAD83 (CORS96), con datum vertical NAVD88(Geoid03) y las unidades en metros.

#### 6. Adquisición.

##### 6.1. Avión de vuelo. Instrumentación y métodos.

Para el vuelo LIDAR se utiliza un sensor Leica ALS60 montado sobre un Cessna Caravan 208B. Además el avión dispone de sistema GPS/IMU para conocer la posición del mismo y los parámetros de orientación. En la tabla 3 quedan resumidas las características del vuelo

Sensor	Leica ALS60
Altitud de vuelo	900m
Frecuencia del pulso	>105KHz
Tipo de pulso	Simple
Velocidad del espejo de barrido	54Hz
Campo de visión	28°
Compensación de inclinación	hasta 20°
Solape	100%

Tabla 3. Características vuelo LIDAR.

Algunos tipos de superficies (vegetación densa o agua) pueden devolver menos pulsos de láser que los emitidos originalmente. Por lo tanto, la densidad final puede ser menor que la densidad inicial y variará de acuerdo con distribuciones de terreno, la cobertura del suelo y el agua.

##### 6.2. Adquisición del LIDAR.

Las líneas de vuelo se configuraron de la siguiente manera:

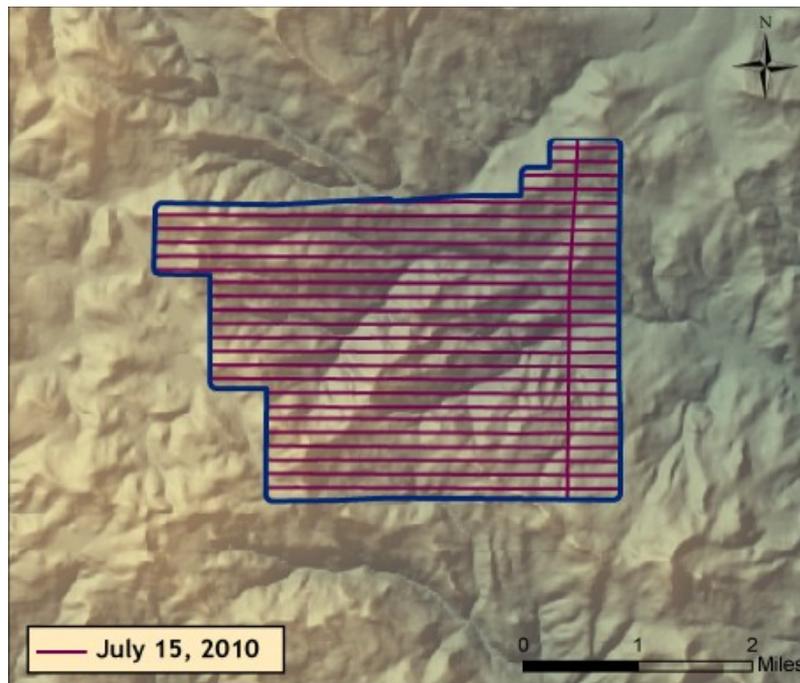


Figura 2. Configuración de líneas de vuelo, sobre MDE de 30m.

### 6.3. Levantamiento topográfico. Instrumentación y método.

Dos estaciones de coordenadas conocidas con GPS de modo estático (1Hz), se procesaron mediante triangulación a partir de estaciones CORS. Las coordenadas de la estación base se proporcionan en la tabla 4. La posición de las estaciones base se muestran en la figura 3.

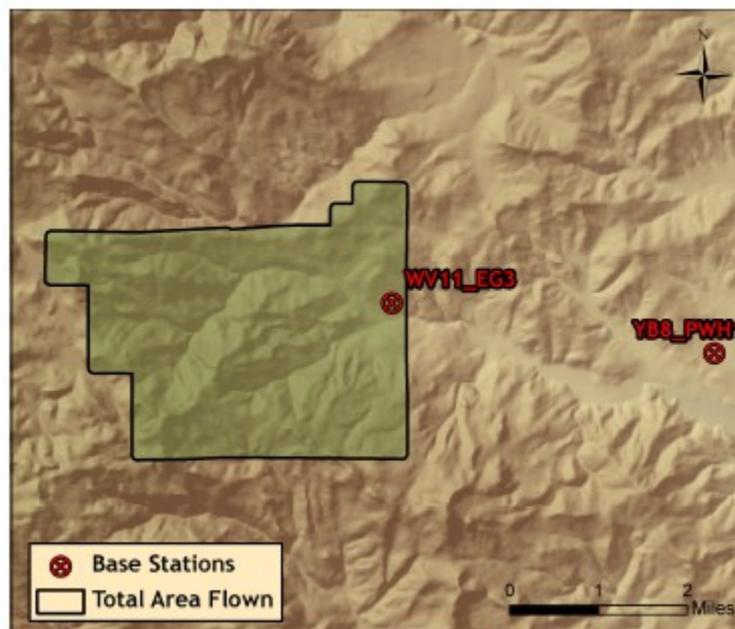


Figura 3. Posición de las estaciones base

Datum NAD83(CORS96)			
ID_ estación	Latitud	Longitud	Altura elipsoidal
WV11 EG3	45°17' 56".90315	-123° 19'22".02617	117.408

YB8_PWH			
1	45° 17'27".89020	-123°14'54".07926	45.501

Tabla 4. Coordenadas estaciones fijas.

La figura 4 muestra las posiciones de los puntos RTK. En este levantamiento RTK se obtuvo una precisión en una posición de  $\sigma \leq 1,5$  cm.

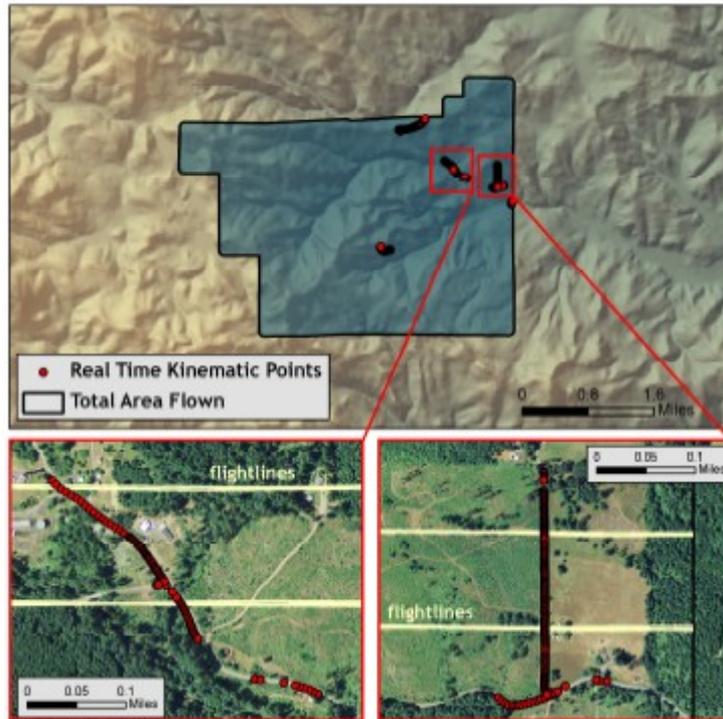


Figura 4. Localización de los puntos medido con RTK, visualizados sobre ortoimágenes.

#### 6.4. GPS cinemático y datos IMU.

Los datos del vuelo LiDAR se referencian a los datos de GPS estáticos (1 Hz) a partir del levantamiento de los puntos de coordenadas conocidas. Durante el levantamiento, la aeronave registra datos de GPS cinemático a 2 Hz y la unidad de medición inercial (IMU) registra datos de orientación con frecuencia de 200 Hz. Los datos GPS estáticos y cinemáticos se post-procesan para obtener las posiciones GPS del avión precisas. Los datos de trayectoria para toda la sesión de vuelo se incorporan al archivo de la mejor trayectoria estimada (SBET) conteniendo las posiciones y orientaciones precisas y continuas del avión.

### 7. Precisión y resolución LIDAR

#### 7.1. Precisión del punto laser.

La precisión absoluta del punto laser está en función de la precisión interna (medida con precisión relativa) y del ruido:

El ruido del láser es el ancho de la nube de puntos por retorno láser (es decir, primero, último, etc.). Las superficies de intensidad baja (carreteras, tejados, aguas tranquilas) experimentan un mayor ruido láser. El rango de ruido láser para este proyecto es de aproximadamente 0,02 metros.

- Precisión relativa: La consistencia interna se refiere a la posibilidad de colocar un punto láser en el mismo lugar a través de múltiples líneas de vuelo, las condiciones de GPS, y las orientaciones del avión.
- Precisión absoluta: mediciones GPS RTK tomadas en las áreas de estudio en comparación con los datos de puntos LIDAR.

Estas definiciones de precisión estadística se aplican a las superficies terrestres únicas y fijas, y no en superficies en movimiento o de agua.

## 7.2. Densidad/Resolución de los datos.

Los histogramas de densidad y mapas se han calculado basados en la densidad el primer retorno y densidad de puntos láser clasificados como terreno.

### 7.2.1. Valores de densidad del primer retorno.

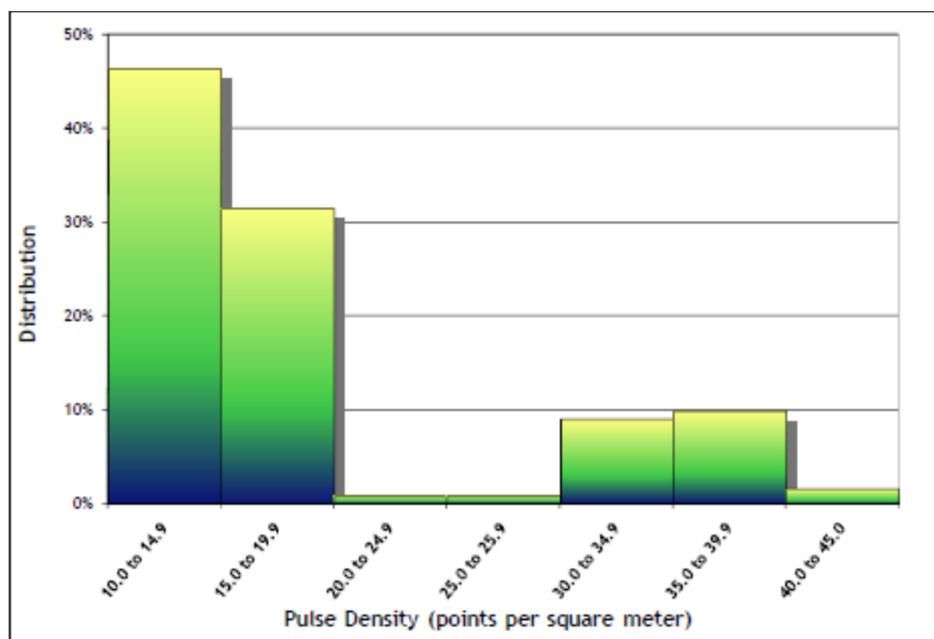


Figura 5. Histograma de densidades del primer retorno.

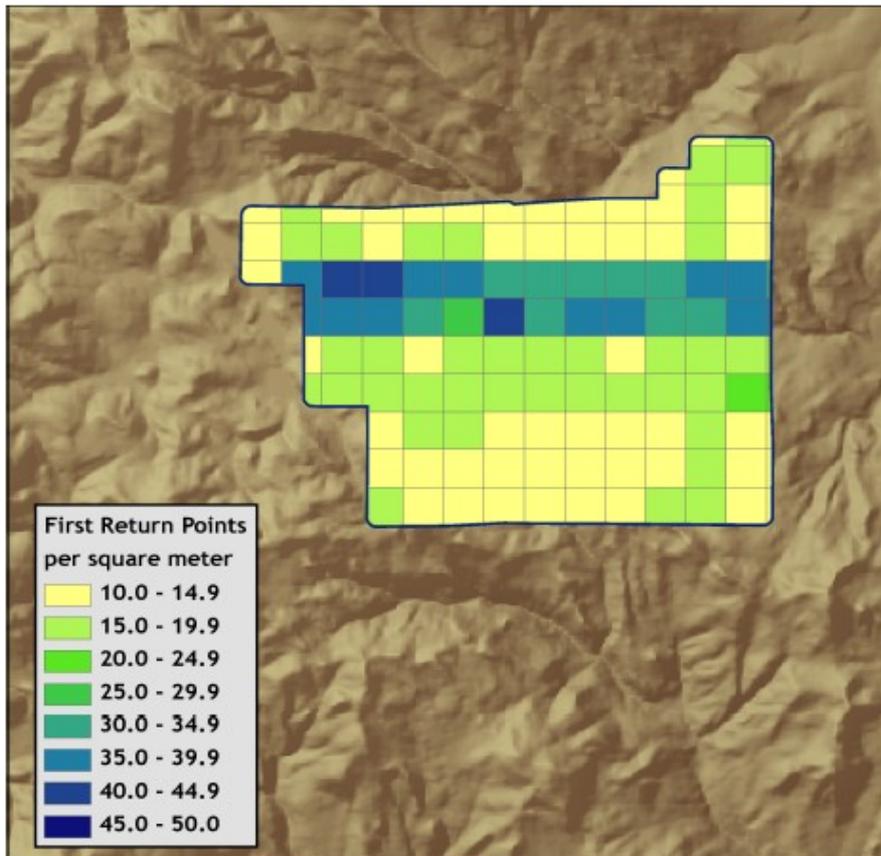


Figura 6. Valores de densidad del primer retorno.

### 7.2.2. Valores de densidad de los puntos terreno

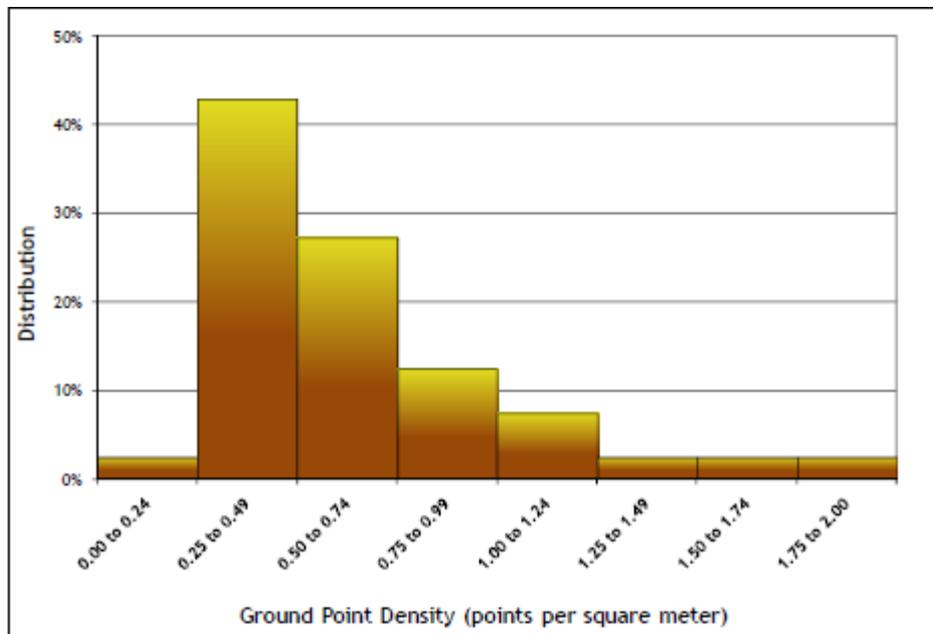


Figura 7. Histograma de los valores de densidad de los punto terreno.

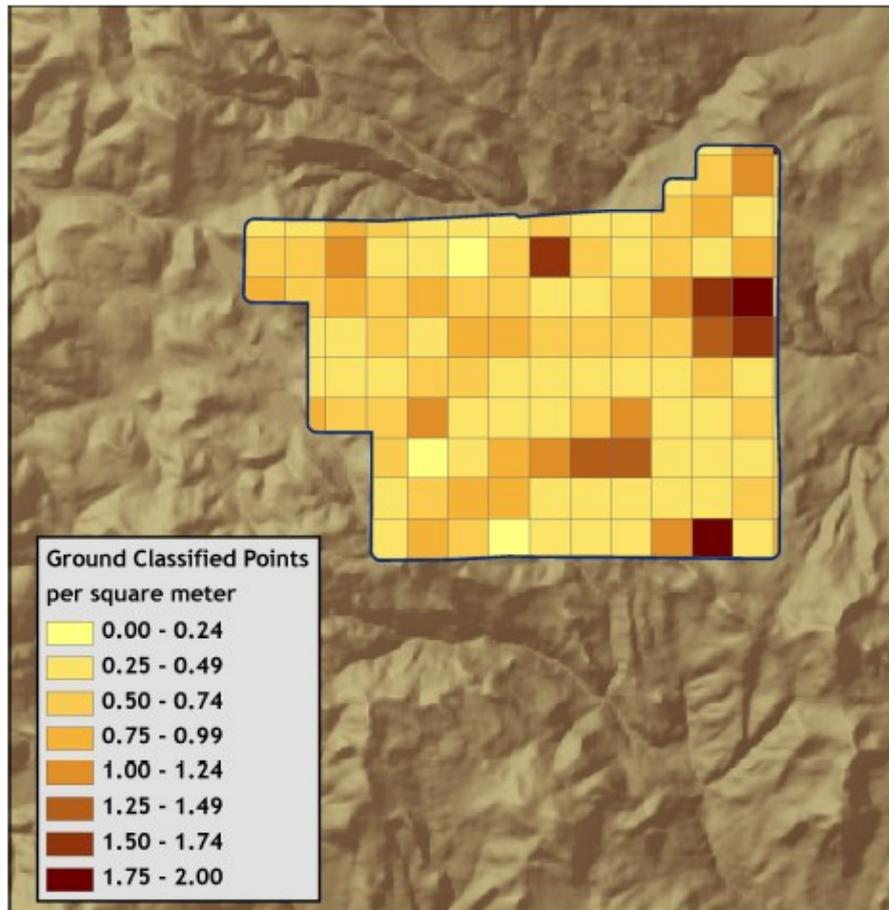


Figura 8. Valores de densidad para los puntos clasificados como terreno.

## 8. Ortoimagen



Figura 9. Ortoimagen de la zona de estudio.

## 9. Notas

Los valores del vuelo y del levantamiento RTK usados para esta memoria no son los más actualizados, ya que se volvió a repetir los trabajos el año 2012, obteniéndose algún valor diferente al mostrado anteriormente dado que tanto el instrumental como alguna de las técnicas y metodologías de toma de datos o de mejora han variado.



## INVENTARIO DE CAMPO.

### 10. Parcelas de muestreo

Para generar el inventario de campo se replantean unas parcelas de muestra de forma regular, normalmente cuadradas o circulares. Sobre estas parcelas se toman diferentes variables selvícolas y dasométricas mediante observaciones directas.

Las parcelas en nuestro caso serán circulares de 16 m de radio distribuidas por toda la zona de estudio. Estas parcelas siguen una distribución aleatoria intentando que todas ellas sean representativas del entorno.

Las parcelas tienen que estar perfectamente georreferenciadas. La metodología empleada en este caso son mediciones GPS con precisión submétrica, por tener buenas precisiones además de rapidez de observación.

Para el siguiente trabajo se crearon un total de 84 parcelas (Tabla 5):

PLOTNO	PLOTID	XPC3	YPC3
1	100401	469355.7	5017344
2	100402	469520.3	5017526
3	100405	469193.3	5017246
4	102401	471468.2	5013518
5	103202	474098	5014050
6	103901	473674.6	5013815
7	103902	473510	5013749
8	104801	473176.4	5016545
9	107701	470144.8	5016515
10	107801	470355.7	5016785
11	108201	469246.3	5015195
12	108501	469395.6	5015496
13	108601	469874.7	5015193
14	109101	472075.1	5016607
15	109102	472711.2	5016494
16	109103	472251.8	5016532
17	109301	473019.7	5015701
18	109302	472634	5015697
19	109303	473180.6	5016338
20	109602	471679.1	5016400
21	109604	471366.9	5016134
22	109605	471462.5	5016303
23	109701	470687.1	5016125
24	109804	471011.5	5015494
25	110101	471297.1	5014434
26	110102	471418.1	5014500
27	110104	471460.4	5014664
28	110201	472187.7	5015732
29	110301	470211.2	5014826



30	110302	470478.6	5015202
31	110401	470860.6	5014185
32	110402	470391.3	5014433
33	110403	470739.5	5014352
34	111001	473906.4	5015029
35	111002	473751.1	5015036
36	111003	474188	5014951
37	112701	470618.7	5015844
38	112702	470673.5	5015872
39	112705	470564.5	5015886
40	114001	470408.6	5016453
41	114002	469909.6	5016269
42	114005	469522.9	5016241
43	200101	469955.4	5016373
44	200102	470407.4	5016741
45	200103	472522.9	5016699
46	200104	472580.4	5016363
47	200105	472339.4	5016231
48	200106	471912.9	5015175
49	200107	472028.8	5015743
50	200108	470309.7	5016553
51	200109	469351	5016508
52	200110	469626.8	5015405
53	200111	473539.4	5017629
54	200201	471175.4	5014505
55	200202	470628.4	5014349
56	200203	470756.8	5014351
57	200204	471128.8	5016716
58	200205	471154.7	5016836
59	200206	470083.8	5014448
60	200207	470163	5014473
61	200208	470252.6	5014519
62	200209	470976	5016860
63	200210	472268.1	5015945
64	200211	470540	5014949
65	200301	471637.5	5016952
66	200302	471356.3	5016215
67	200303	470330.9	5017435
68	200304	474527.1	5017599
69	200305	472812.7	5015398
70	200306	473910.5	5014990
71	200307	474565.9	5014825
72	200308	473462.8	5013664
73	200309	473331.1	5014860
74	200310	472441.5	5014391
75	200311	473767.3	5014020
76	200312	474664	5014418

77	200313	470298.1	5015465
78	200314	470852.8	5014595
79	300001	471591.7	5016806
80	300002	472542.5	5017018
81	300003	469343.3	5016107
82	300004	469947.4	5015946
83	300005	469460.1	5016739
84	300006	470476.4	5013731

Tabla 5. Listado de las parcelas y coordenadas del centro de las mismas.

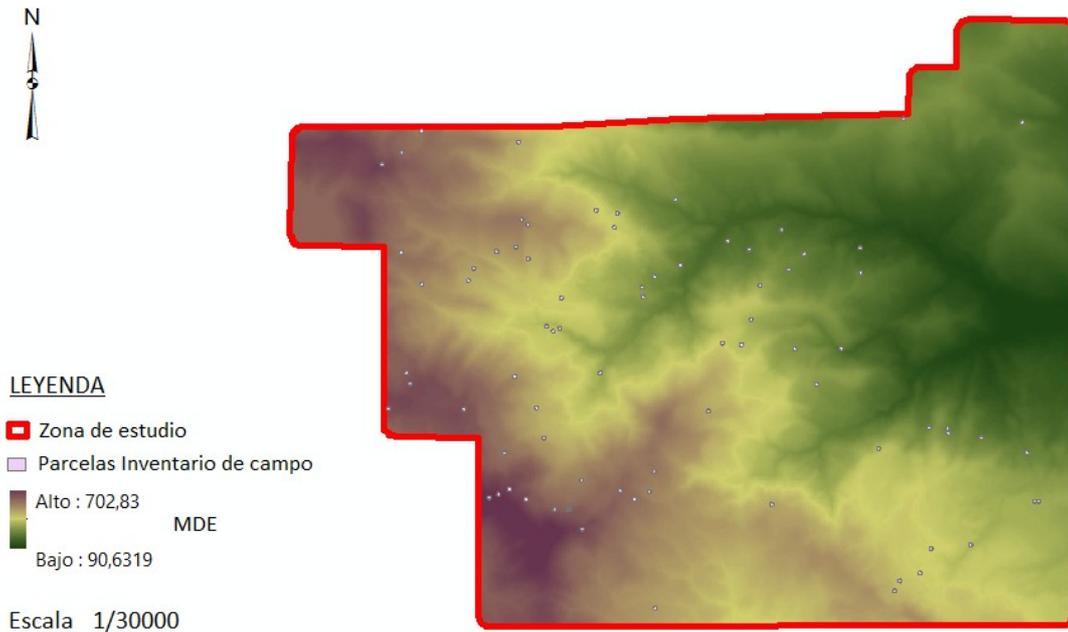


Figura 10 Relación entre la zona de estudio y las parcelas de muestreo para el inventario

## 11. Variables forestales

Las variables usadas para este trabajo, calculadas según la formulación dependiente del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) son las siguientes:

- Biomasa Aérea (Above Ground Biomass):  
Según la FAO se puede definir como toda la biomasa viva que existe por encima del nivel del suelo, incluyendo: tronco, corteza, ramas, hojas, semillas....  
La formula se puede expresar como:  
 $Biomasa\ Aérea = VOB * WD * BEF$

Donde VOB es el inventario de corteza hasta una altura predeterminada (por ejemplo la primera rama principal), WD es la masa seca por unidad de masa verde y BEF es un ratio del total de biomasa seca de árboles con un mínimo de 10 cm de diámetro a la altura del pecho de un adulto

- Área Basimétrica (Basal Area):



Se puede definir como la relación entre las secciones normales de los árboles de un espacio forestal y la superficie de terreno que ocupan.

La fórmula se puede expresar como:

$$BA = 0.005454 * DBH^2$$

$$BA = 0.00007854 * DBH^2$$

Donde DBH es diámetro del tronco a la altura de un adulto ( $\approx 1.3m$ ). La primera fórmula DBH en pulgadas, en la segunda DBH en cm.

- Diámetro medio cuadrático (Quadratic mean diameter)

Se puede definir como una medida de tendencia central para caracterizar a los árboles que ya se han medido.

La fórmula se puede expresar como:

$$QMD = \sqrt{\frac{BA}{k * n}}$$

Donde BA es el área basimétrica, n el número de árboles y k una constante en función del número de árboles.

- Índice de densidad standard (Stand Density Index)

Se puede definir como la medida del mayor número de árboles por unidad de área a una determinada altura (1.3m) y con un diámetro medio de 25cm.

La fórmula se puede expresar como:

$$SDI = TPA * \left( \frac{QDM}{10} \right)^{1.605}$$

Donde TPA es árboles por acre (Tree per acre),

- Volumen:

$$V = BA * h * f \text{ pollanschutz}$$

Donde BA es el área basimétrica, h la altura (medida mediante trigonometría), f pollanschutz se conoce como el factor de forma cuyo valor viene dado en tablas.

- Altura del dosel (CanopyHeight): para determinar la variable de la altura de copa se usan modelos predictivos a partir de imágenes Landsat y diferentes gradientes biofísicos.
- Altura de la cubierta de copas (Canopy Base Height, CBH): se estima como la altura mínima a la cual el fuego se extiende hacia arriba, hacia la copa.



- Densidad aparente de copa (Canopy Bulk Density, CBD): Densidad del volumen de copa, se estima la variable a partir de seis técnicas de medición, tanto en la parte del tronco como en la copa de los árboles. También se pueden usar las llamadas funciones alométricas para su obtención.
- Carga de combustible en la copa (CanopyFuelLoad)

## CREACIÓN, COMPROBACIÓN Y RESULTADOS DE LOS MODELOS.

En este apartado se va a explicar la metodología, y el proceso seguido para la obtención de los mapas. Empieza haciendo referencia a cómo se van a organizar los diferentes archivos, los de inicio y los finales. Después se explica cómo se generan los modelos, la diferente metodología usada en FUSION y Statgraphics, y su comprobación, y cómo por último se obtienen los modelos aplicados a todo el área de estudio.

### 12. Organización de archivos

Se dispone de los siguientes datos de partida:

- Archivos \*.LAS con la nube de puntos de nuestra zona de trabajo. 121 archivos.
- Archivo Excel con los datos de campo, correspondientes a las coordenadas de cada muestra del inventario forestal. 84 parcelas circulares.

Antes de comenzar, es conveniente guardar los datos de trabajo en el disco duro C:\TFG, por ejemplo, ya que permite que la ejecución del software FUSION sea más rápida. También facilita el trabajo y la organización de todos los archivos.

En la carpeta inicial: se copia la carpeta del software FUSION, necesaria para la ejecución del programa.

En el directorio principal (c:\TFG) se crea el archivo de instrucciones de FUSION usando un bloc de notas que se guarda con la extensión \*.bat (archivo de procesamiento por lotes) que contiene una serie de comandos MS-DOS que serán las funciones necesarias para realizar el tratamiento de los datos LIDAR. Se diferencia cada proceso de FUSION en una carpeta diferente.

Se tiene la siguiente organización de la carpeta C:\:

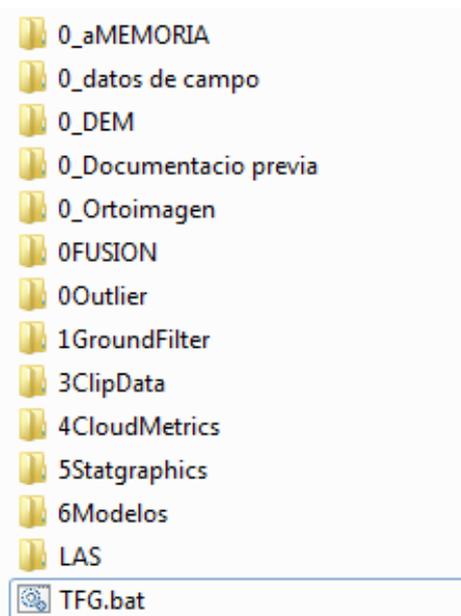


Figura 11: Organización de archivos.

### 13. Generación de los modelos

El apartado siguiente se va a centrar en dos bloques: metodología, en el que se explica el método que se sigue en las distintas fases del proyecto. Y el segundo el proceso en si dividido en varios subapartados, obtención del mdt y de la métrica en las parcelas de muestra, la obtención de los modelos de las parcelas de muestra, de la comprobación de los mismo, y por último, la obtención de los modelos para toda la zona de estudio.

#### 13.1. Metodología.

- FilterData: se eliminan los outliers. Este comando proporciona un filtro para los outlier que identifica y elimina los retornos basados en el rango de la elevación observada en la ventana de comparación. Este filtro funciona mediante el cálculo de la elevación media y la desviación estándar de las elevaciones para cada celda de la cuadrícula de comparación. Entonces, los retornos de las elevaciones se comparan con rango definido de la siguiente forma:

$$\text{FilterParm} * \text{StdDevElevation} \\ (\text{MeanElevation}) \pm i$$

Sólo devuelve, se guardan en el archivo de salida aquellos puntos que tienen elevaciones dentro del rango.

- GroundFilter: se usa para filtrar una nube de puntos y generar un modelo de suelo, modelo digital del terreno. El algoritmo que se usa está basado en una predicción lineal (Kraus and Mikhail, 1972) con una precisión individual para cada medida. Es un proceso iterativo el cual trata de filtrar los puntos que son suelo, de los que no lo son. Empieza con un modelo situado entre el modelo digital del terreno y el modelo de alturas. Los puntos del terreno tienen más probabilidad de que estén por debajo de esta superficie. Por lo tanto se asignan para cada punto LIDAR unos pesos en función de la distancia y dirección a esta superficie.

$$p = \begin{cases} 1 & v_i \leq g \\ \frac{1}{1 + (a(v_i + g)^b)} & g < v_i \leq g + w \\ 0 & g + w < v_i \end{cases}$$

Los parámetros a y b determinan la pendiente de la función peso. Para la mayoría de las aplicaciones de los valores 1.0 y 4.0 para a y b, respectivamente. El valor g determina a qué puntos se les asigna el peso máximo, 1. Los puntos por debajo de la superficie +g tienen este peso. El valor de w establece el límite superior para los puntos que tienen una influencia en la superficie inmediata. Los puntos que están sobre el nivel definido por g+w se les asigna valor 0. Este proceso se itera hasta que la superficie obtenida no cambie respecto a la anterior.

- GridSurfaceCreate: se crea un modelo de superficie usando grupos de puntos aleatorios. El modelo se guarda en formato PLANS DTM. Las elevaciones de cada celda se calculan usando la elevación media de toda la celda.



- CloudMetrics: se calcula una variedad de parámetros estadísticos que describen un conjunto de datos LIDAR. Las métricas se calculan utilizando las elevaciones puntuales y valores de intensidad (cuando estén disponibles). En la operación, *CloudMetrics* produce un registro de salida para cada archivo de datos procesados. La salida se guarda como un archivo de valores separados por comas (CSV) que puede ser fácilmente abierto por un software como Microsoft Office-Excel y programas de estadística
- ClipData: se crean diferentes subconjuntos de datos LIDAR para diversas tareas de análisis. El subconjunto de datos puede ser circular o rectangular (switch: shape). Se utiliza a menudo para crear una muestra de retornos LIDAR alrededor de un punto específico de interés, tal como un centro de parcela o el punto de medición GPS. Los análisis posteriores, utilizando funciones como *CloudMetrics*, facilitan la comparación de datos de campo con la métrica de la nube de puntos LIDAR.
- Regresión paso a paso hacia delante: Este método, se usa en estadística. Se utilizan los datos del inventario y los estadísticos de la nube de puntos (CloudMetrics). El método se basa en ir introduciendo en el modelo tantas variables independientes como sean posibles para obtener el mejor modelo posible. El primer paso es crear un modelo con una única variable independiente (regresión lineal simple), la cual tendrá una fuerte correlación con la variable dependiente. En caso de no existir finalizaría el proceso sin la obtención de modelo alguno. En el segundo paso se introduce, entre las variables restantes, la que consigue un mejor modelo. Esta variable se evalúa para que cumpla unos criterios de calidad mínimos. Si se ha conseguido introducir en el modelo la segunda variable (ha pasado los diferentes test), se valora la posibilidad de introducir una tercera variable. Si no son superados los criterios de calidad finaliza el proceso. De esta forma se van introduciendo variables hasta la obtención del mejor modelo

### 13.2. Proceso

La síntesis del proceso de este proyecto es el siguiente: creación del mdt de la zona de estudio, obtención de las métricas relativas al mdt en las parcelas de muestra, obtención de los modelos en dichas áreas (circulares radio=16m), división de la zona de estudio en parcelas cuadradas de 30x30m (se da por válido por la similitud con el radio de las parcelas de muestra), obtención de las métricas relativas al mdt en cada parcela de 30x30m, obtención para cada celda del valor correspondiente a cada modelo y tras este proceso se obtiene cada mapa asociado al modelo.

Así mismo se dividirá en tres apartados. El primero el correspondiente a la parte realizada de FUSION, el segundo a la parte de Statgraphics y el tercero se corresponderá con la aplicación de los modelos a todo el área de interés.

### 13.2.1. FUSION

Se crea el archivo de texto con las instrucciones para el proceso de los datos con el programa FUSION: Las instrucciones del archivo \*.bat son las siguientes:

```
C:\TFG\LAS\0FUSION\Catalog C:\TFG\LAS\PC_all.txt C:\TFG\LAS\all_catalog
```

Con este comando se produce un conjunto de datos que describen algunas de las características importantes del conjunto de los datos LIDAR. La visualización se realiza mediante una hoja de cálculo o visor web (si el archivo de salida es html). Se usa para evaluar la calidad interna de una nueva adquisición, la densidad de retornos y pulsos. Además puede producir imágenes que representan diferentes variables: densidades de área de cobertura, pulso y retornos así como, los valores de intensidad para toda la adquisición.

```
C:\TFG\LAS\0FUSION\FilterData /minpts:3 /minsd:1.0 outlier 3.0 10  
C:\TFG\LAS\0RES\PC_sinoutlier.las C:\TFG\LAS\0PC_las.txt
```

Se obtiene el archivo de la nube de puntos sin outliers.

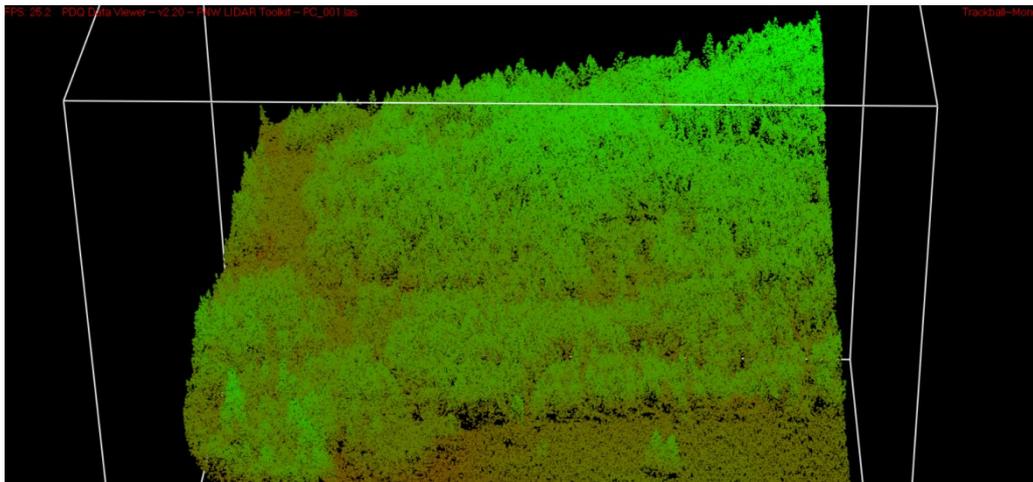
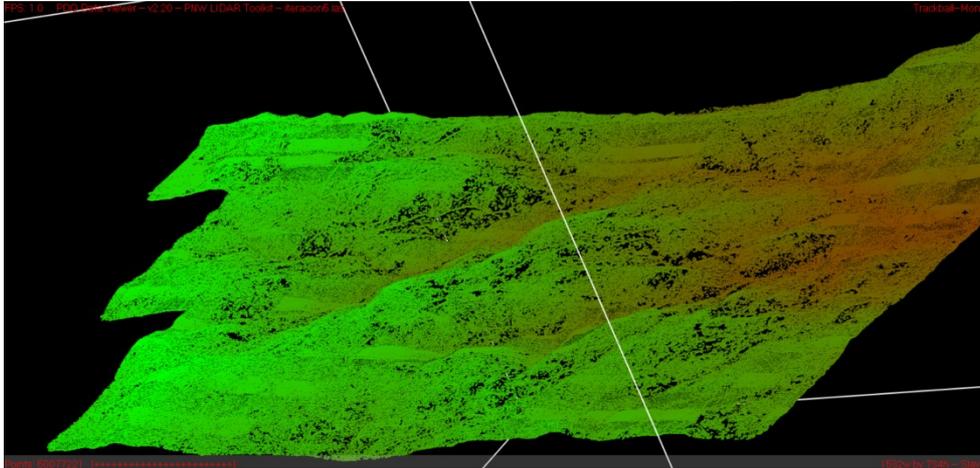


Figura 6. Datos LIDAR sin outliers. Parte.

```
C:\TFG_inicial\LAS\0FUSION\GroundFilter /gparam:3 /wparam:5 /iterations:8  
C:\TFG_inicial\LAS\0RES\0.1GroundFilter\iteracion1.las 15  
C:\TFG_inicial\LAS\0RES\PC_sinoutlier.las
```

Este comando se repite 5 veces reduciendo los pesos y el tamaño de la ventana. Para conseguir que cada vez el filtrado, elimine puntos más cercanos a la superficie del suelo.

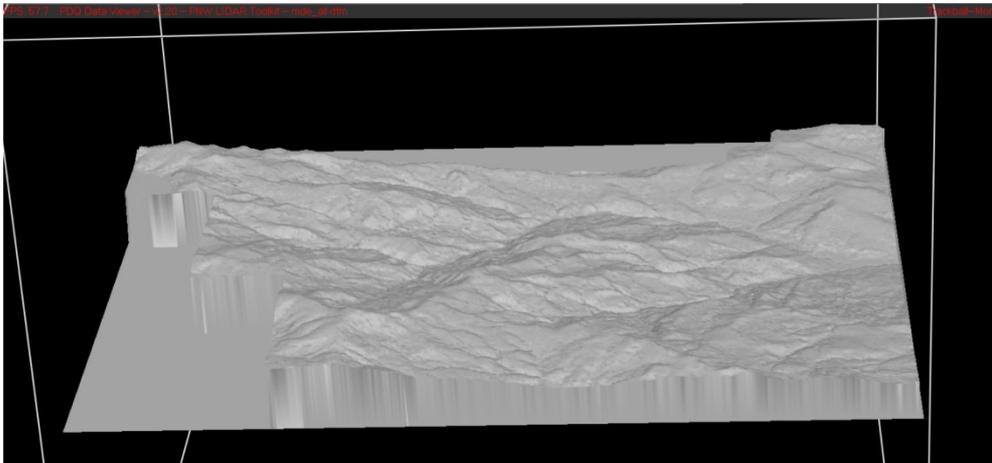
Se obtiene una nube de puntos correspondiente al terreno.



**Figura 7. Nube de puntos del terreno.**

```
C:\TFG_inicial\LAS\0FUSION\GridSurfaceCreate
C:\TFG_inicial\LAS\0RES\0.1GroundFilter\mde_all.dtm 1 M M 1 30 0 0
C:\TFG_inicial\LAS\0RES\0.1GroundFilter\iteracion5.las
```

Se obtiene el MDT suavizado a partir de la nube de puntos anterior.



**Figura 8. Modelo Digital del Terreno**

```
C:\TFG_inicial\LAS\0FUSION\ClipData /shape:1
/dtm:C:\TFG_inicial\LAS\0RES\0.1GroundFilter\mde_all.dtm /zmin:0.1 /height
C:\TFG_inicial\LAS\0PC_las.txt C:\TFG_inicial\LAS\0RES\0.2ClipData\PC_campo001.las
469339.739 5017328.482 469371.739 5017360.482
```

En este caso habría que generar 84 líneas de comandos para que cada una de las submuestras se corresponda con cada una de las muestras del inventario de campo y usando cada una de las coordenadas descritas en la tabla 5 (págs. 20-23)

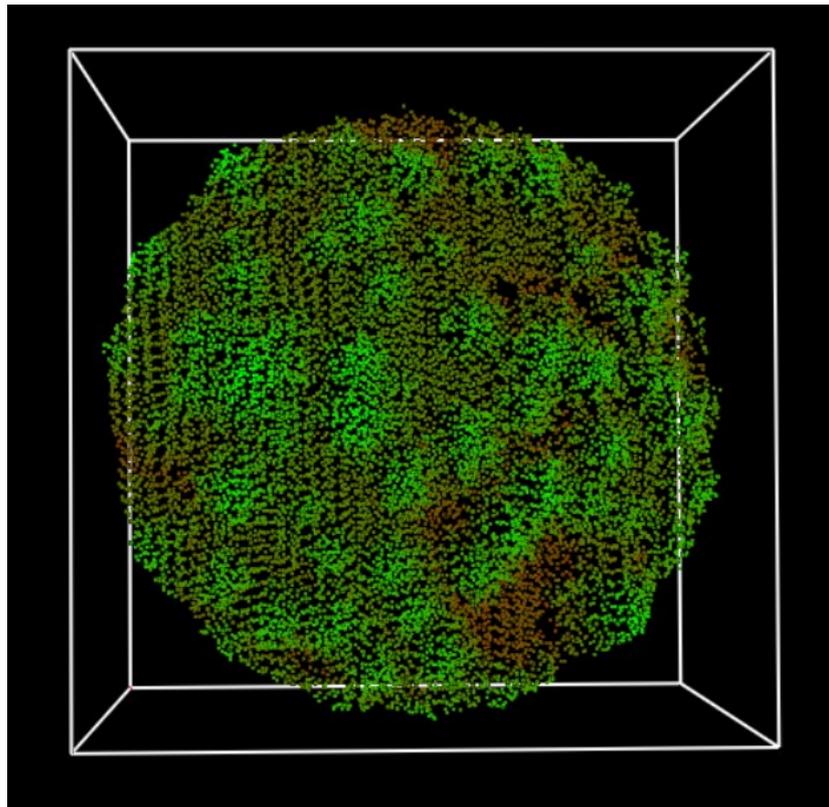


Figura 9. Parcela de muestreo para calcular las métricas.

*C:\TFG\_inicial\LAS\0FUSION\CloudMetrics*

*C:\TFG\_inicial\LAS\0RES\0.3CloudMetrics\CloudMetrics\_input.txt*

*C:\TFG\_inicial\LAS\0RES\0.3CloudMetrics\MetricsDEF*

Salida de un fichero con formato csv correspondiente a la métrica de cada una de las submuestras.

### 13.2.2. STATGRAPHICS

Se genera un archivo Excel uniendo los datos de campo y las métricas de FUSION, después se carga el fichero en el software STATGRAPHICS para la generación de los modelos.

Para la generación de los modelos se realiza una regresión múltiple designando como variable dependiente a la obtenida en campo y como variables independientes a todas las variables obtenidas de las métricas. Hay que eliminar del análisis aquellas que sean nulas, y cerciorarse que todas las variables sean de tipo numérico.

Para esta generación se elige, entre todos los métodos de regresión del software, el método de regresión hacia delante.

Se genera un modelo para cada una de las variables.

La forma de obtenerlos es la siguiente:

- se selecciona la opción de regresión múltiple para varias muestras.
- se selecciona la variable dependiente (8 modelos) e independientes (todas las variables obtenidas con FUSION, salvo aquellas que sean nulas).

- se selecciona la opción paso a paso hacia delante.
- se seleccionan las 3 primeras variables del modelo obtenido.
- se vuelve a generar el modelo seleccionando como variables independientes las variables obtenidas en el paso anterior.
- si el valor de  $R^2$  es aproximadamente 0.75 se acepta el modelo.

Este valor de  $R^2$  se conoce como el coeficiente de determinación. Este coeficiente determina qué calidad tiene la regresión lineal asociada a un modelo para poder reproducir los resultados y por tanto la fiabilidad que tiene la regresión (modelo) respecto a los datos iniciales. También cabe destacar que cuantas más variables se usen para nuestro modelo mayor será el coeficiente. Por lo que puede ocurrir un incremento de  $R^2$  por casualidad estadística. Para evitar este incremento (aunque no es nuestro caso, puesto que sólo se han valorado 2 o 3 variables) se calcula también el estimador  $R^2_{ajustado}$ . En este estadístico sí se incluye el número de variables utilizadas en la regresión. El valor de este estadístico siempre será menor que el  $R^2$ .

El estadístico  $R^2_{ajustado}$  no tiene la misma interpretación que  $R^2$ . Mientras que  $R^2$  es una medida de ajuste,  $R^2_{ajustado}$  es una medida comparativa.

### 13.4. Comprobación de modelos

Una vez obtenidos los modelos se procede a su comprobación. Para ello en el archivo Excel, habrá que generar una columna que llamaremos folds o pliegues. Se dividirán las 84 parcelas de muestra en folds o pliegues de tamaño igual. Dividimos nuestra muestra en 10 folds. Lo que corresponderá a 8 o 9 submuestras por fold.

- se calcula el modelo con las variables seleccionadas del modelo general, añadiendo en la opción de selección “folds <n>” (distinto que n, el número de pliegue correspondiente).

Para que la comprobación de los modelos se realice de forma sencilla en nuestro caso usaremos el mismo fichero Excel de forma que se crea una hoja para cada variable con los datos siguientes: por una parte tendremos una columna para los datos observados del inventario de campo, otra para indicar a qué fold se corresponde cada submuestra, una tercera para la variable calculada, a continuación una columna que sea el resultado de: (variable calculada – variable observada), y por último se tiene una columna que sea el resultado del valor de la columna anterior al cuadrado. Sin olvidar de registrar las fórmulas del modelo para cada fold y los diferentes parámetros estadísticos de los diferentes folds y del modelo general. Se calcularán de la siguiente manera.

$$- R^2 = \text{Correlación}(calc : obs)$$

$$- R^2_{adj} = 1 - \frac{(1 - R^2) * (n - 1)}{n - p - 1}$$

Siendo n el número de muestras que existe en el fold, p el número de variables independientes de la fórmula.

$$- RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} * \sum_{i=1}^n (calc - obs)^2}$$



$$- \quad nRMSE = \frac{RMSE}{Max_{obs} - Min_{obs}}$$

$$- \quad CV = \frac{RMSE}{\mu_{obs}}$$

En el primer apartado del anexo se muestran los resultados obtenidos. En primer lugar los resultados para el modelo general, después para cada fold a continuación y por último los la tabla de Excel de las comprobaciones.

En resumen, la fórmula de los modelos es la siguiente:

$$\text{Biomasa aérea (t/ha)} = -281.071 + 23.3674 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 5.18009 * \text{Int P10}$$

$$\text{Área Basimétrica (m}^2\text{/ha)} = -2.96764 + 2.20549 * \text{Elev L1} + 7.09514 * \text{Elev L4}$$

$$\text{Diámetro medio cuadrático (cm)} = 1.8901 - 0.0421126 * \text{Return 4 count} - 4.41512 * \text{Elev P01} + 1.43632 * \text{Elev CURT}$$

$$\text{Índice de densidad standard} = 46.7624 + 23.922 * \text{Elev L1} - 10.4366 * \text{Elev P60}$$

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = 20.0584 + 10.3395 * \text{Elev L1} + 8.11993 * \text{Elev P25}$$

$$\text{Altura del dosel (m)} = 5.28395 - 0.0605786 * \text{Return 4 count} - 3.84917 * \text{Elev P01} + 0.916285 * \text{Elev P50}$$

$$\text{Altura de la cubierta de copas (m)} = 29.3795 - 0.0522228 * \text{Return 4 count} - 319.359 * \text{Elev minimum} + 0.775966 * \text{Elev P50}$$

$$\text{Densidad aparente de copas (kg/m}^3\text{)} = -0.486248 + 4.07053 * \text{Elev minimum} + 0.00180788 * \text{Int P10} + 0.0083836 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

$$\text{Carga de combustible de copa (t/ha)} = 5.67176 + 2.5833 * \text{Elev L1} + 8.48728 * \text{Elev L4} - 28.2717 * \text{Canopy relief ratio}$$

### 13.5. Creación de los modelos para toda la zona

Se va a explicar el último paso de nuestro proyecto que es la aplicación de nuestros modelos a toda la zona de estudio.

Para ello, se empieza por crear con ArcGis (u otro software GIS), el polígono exterior que delimite toda la zona de estudio. El cual se tiene que dividir en una malla poligonal y cada polígono es de 30x30m, esto es debido a que como nuestras parcelas de muestra circulares tienen un diámetro de 32m, se acepta que el modelo que se forme en la misma parcela de muestra servirá para el polígono de la malla. Se tiene que crear un registro que identifique de manera inequívoca a cada polígono.

Cuando tenemos la división, se tiene que realizar el recorte de la nube de puntos de FUSION, con cada polígono, usando, en nuestro archivo bat, el switch para que identifique cada polígono con su identificador. Se ejecuta la siguiente instrucción

```
C:\TFG\FUSION\PolyClipData /multifile /shape:1,*
C:\TFG_correcto\shp\shp_polig30m\poligmalla30.shp
C:\TFG_correcto\bat\polyclipdata\30\recorte\PolyClipMalla30.las
C:\TFG_correcto\LAS\0PC_las.txt
```



Con el switch multifile se crea un archivo por cada polígono existente en el shp, con el switch shape se elige la columna de la tabla de atributos a la que queremos relacionar el nombre de nuestro archivo

Una vez tenemos todo los archivos generados, se tiene que repetir el proceso, pero esta vez referenciándolos al mdt para que tengamos alturas y no elevaciones.

```
C:\FUSION\ClipData /shape:0 /dtm:E:\TFG_correcto\mde_all.dtm /zmin:0.1 /height  
C:\TFG_correcto\bat\polyclipdata\30\recorte\PolyClipMalla30_0.las  
C:\TFG_correcto\bat\clipdata\clipdata\Clip_0.las 460000 5010000 480000 5020000
```

El siguiente paso, es calcular las métricas, de cada polígono.

```
C:\FUSION\CloudMetrics C:\TFG_correcto\bat\cloudmetrics\clippolig.txt  
C:\TFG_correcto\bat\cloudmetrics\metrica.csv
```

Por último se calculará el valor de cada variable, usando la fórmula del modelo general. Y generando una base de datos de la misma

Para la generación de los mapas, se vuelve a usar ArcGIS creando una unión de nuestra tabla de de datos, referente a los polígonos, con la tabla de datos referente a los datos de nuestras variables. Siendo el campo de unión el identificador único.

Por último se genera un mapa para cada variable, expuestos en las páginas siguientes.

- Mapa 1: **Biomasa aérea.**
- Mapa 2 **Área Basimétrica.**
- Mapa 3: **Diámetro medio cuadrático.**
- Mapa 4: **Índice de densidad standard.**
- Mapa 5: **Volumen.**
- Mapa 6: **Altura del dosel.**
- Mapa 7: **Altura de la cubierta de copas.**
- Mapa 8: **Densidad aparente de copas.**
- Mapa 9: **Carga de combustible de copas.**



















## CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo ha sido la creación de modelos de biomasa a partir de datos LIDAR en la zona de Panther Creek, Oregon, EEUU.

Para ello hemos procesado los datos LIDAR para obtener unas métricas sobre la nube puntos y poder generar dichos modelos. También ha sido necesario generar un inventario de campo, lo más preciso posible, en este caso se inventariaron 84 parcelas circulares por todo el área de estudio.

El procesamiento de los datos LIDAR se ha realizado de la siguiente manera: eliminación de outliers, filtrado de aquellos puntos que no pertenecen al terreno, generación del MDT a partir de esta nube de puntos, recorte de la nube de puntos con las parcelas del inventario y con referencia del MDT y por último generación de las métricas correspondientes a las parcelas de recorte.

En la parte de Statgraphics hemos generado los modelos de las variables forestales (variables dependientes que se han medido con el inventario de campo) a partir de las variables de las métricas LIDAR (variables independientes).

Los resultados de los diferentes modelos son los siguientes:

- Biomasa aérea:

<b>Radj-media</b>	<b>0.84753562</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>83.962463</b>
<b>nRMSE-med</b>	<b>0.14689617</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.27283807</b>

- Basimetric Area:

<b>Radj-media</b>	<b>0.7961</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>11.186</b>
<b>nRMSE-med</b>	<b>0.1683</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.2453</b>

- Quadratic Mean Diameter:

<b>Radj-media</b>	<b>0.784983</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>6.613077</b>
<b>nRMSE-med</b>	<b>0.178161</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.198727</b>

- Stand Density Index:



<b>Radj-media</b>	<b>0.728637</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>63.71202</b>
<b>nRMSE-med</b>	<b>0.208252</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.225318</b>

- Volumen:

<b>Radj-media</b>	<b>0.742287</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>83.31187</b>
<b>nRMSE-med</b>	<b>0.183793</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.23038</b>

- Canopy Heigh:

<b>Radj-media</b>	<b>0.622096</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>5.871404</b>
<b>nRMSE-med</b>	<b>0.260821</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.254044</b>

- Canopy Base Heigh:

<b>Radj-media</b>	<b>0.715038</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>4.284771</b>
<b>nRMSE-med</b>	<b>0.20424</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.186543</b>

- Canopy Bulk Density

<b>Radj-media</b>	<b>0.69167999</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>0.04717408</b>
<b>NRMSE-med</b>	<b>0.22932807</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.34152576</b>

- Canopy Fuel Load

<b>Radj-media</b>	<b>0.789564</b>
<b>RMSE- med</b>	<b>10.9501</b>



<b>NRMSE-med</b>	<b>0.16082</b>
<b>CV-med</b>	<b>0.228823</b>

En los resultados expuestos anteriormente, se ha evaluado cada modelo según cuatro parámetros: Radjustada, RMSE, RMSE normalizado y CV. Todos ellos son la media de cada una de estas variables para cada variable forestal calculadas para cada fold.

Todos los modelos se pueden aceptar, dado que los valores de Radj, nRMSE y CV entran dentro de los asumibles para este trabajo.



## Bibliografía

Para la realización de este trabajo se ha consultado diversas fuentes: documentos, publicaciones, páginas web...

Curtis, Robert O.; Marshall, David D. (2000), "Why quadratic mean diameter?" , Western Journal of Applied Forestry **15**(3): 137–139, retrieved 2012-06-13

Definitional issues related to reducing emissions from deforestation in developing countries. *Fao.org*. 2016. Available at: <http://www.fao.org/docrep/009/j9345e/j9345e12.htm>. Accessed 1 April, 2016.

Estimating forest canopy bulk density using six indirect methods - Canadian Journal of Forest Research. (2016). *Canadian Journal of Forest Research*. [online] Available at: [http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x04-213?journalCode=cjfr#.VxUOH\\_mLTcc](http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x04-213?journalCode=cjfr#.VxUOH_mLTcc) [Accessed 1 Apr. 2016].

Fao.org. (2016). 3. *METHODS FOR ESTIMATING BIOMASS DENSITY FROM EXISTING DATA*. [online] Available at: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e06.htm> [Accessed 1 Apr. 2016].

Hermosilla, Txomin et al. (2013) *Estimation of forest structure and canopy fuel parameters from small footprint full waveform LiDAR data*. International Journal of Wildland Fire.

Landfire.gov. (2016). *LANDFIRE Program: Data Products - Fuel - Forest Canopy Height*. [online] Available at: <http://www.landfire.gov/NationalProductDescriptions5.php> [Accessed 1 Apr. 2016].

Landfire.gov. (2016). *LANDFIRE Program: Data Products - Fuels - Forest Canopy Base Height*. [online] Available at: <http://www.landfire.gov/NationalProductDescriptions4.php> [Accessed 1 Apr. 2016].

Moores, L., Pittman, B. and Kitchen, G. (1996). Forest ecological classification and mapping: Their application for ecosystem management in Newfoundland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 39(1-3), pp.571-577.

Næsset, E. (1997). *Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52(2), pp.49-56.

McGauhey R.J., 2008, FUSION/LDV: Software for LIDAR data analysis and visualization, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

Ruiz, L., Hermosilla, T., Godino, M. and Almonacid, J. (2001). *Procedimiento para la estimación de variables dasométricas a partir de datos LIDAR*.

Shaw, J.D. 2006. *Reineke's Stand Density Index: Where are we and where do we go from here?* Proceedings: Society of American Foresters 2005 National Convention. October 19-23, 2005, Ft. Worth, TX..

Scott, Joe H., Reinhart, Elisabeth H. (2002). *Estimating canopy fuels in conifer forests*. Systems for environmental management. U.S. Department of Agriculture. Forest Services, pag 45.

Statgraphics. (2016). *Statgraphics - Software de análisis de datos estadístico y gráfico*. [online] Available at: <http://www.statgraphics.net/> [Accessed 18 Apr. 2016].



Watershed Science (Applied Remote Sensing & Analysis). 2010. *LIDAR Remote Sensing Data Collection: Panther Creek, Oregon, September 1, 2010* Para US Department of Interior Bureau of Land Management.

Wikipedia. (2016). *Basal área*. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Basal\\_area](https://en.wikipedia.org/wiki/Basal_area) [Accessed 18 Apr. 2016].

## ANEXO

### A. Resultados estadísticos de los modelos

#### 1. Biomasa aérea (Above Ground Biomass)

##### 1.1. Modelo general.

Variable dependiente: AbvGrnd\_Biomass(t/ha)

Variables independientes:

Elev CURT mean CUBE

Int P10

$$AbvGrnd\_Biomass(t/ha) = -281.071 + 23.3674 * Elev CURT mean CUBE + 5.18009 * Int P10$$

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	-281.071	40.5997	-6.923	0.0000
Elev CURT mean CUBE	23.3674	1.37255	17.0248	0.0000
Int P10	5.18009	1.3275	3.90215	0.0002

##### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	2.8064E6	2	1.4032E6	195.43	0.0000
Residuo	581592.	81	7180.14		
Total (Corr.)	3.38799E6	83			

R-cuadrada = 82.8337 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.4099 por ciento

Error estándar del est. = 84.7357

Error absoluto medio = 66.8496

Estadístico Durbin-Watson = 2.00486 (P=0.4766)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0112217

##### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

##### Paso 1:

Añadiendo variable Elev CURT mean CUBE con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 79.61% R-cuadrado ajustado = 79.36% CME = 8425.88

##### Paso 2:

Añadiendo variable Int P10 con Alpha a introducir =0.000196243

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 82.83% R-cuadrado ajustado = 82.41% CME = 7180.14



Gráfico de AbvGrnd\_Biomass(t/ha)

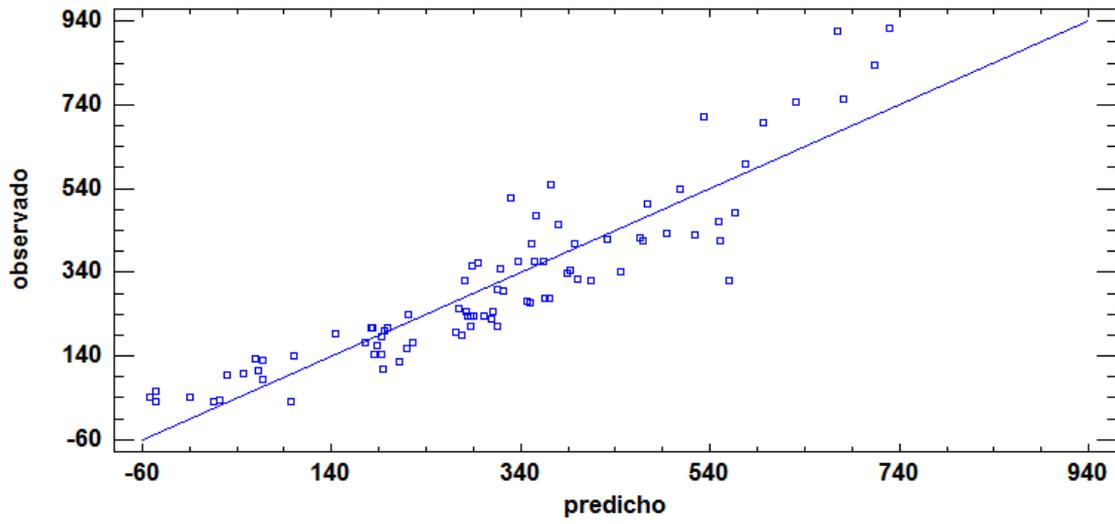
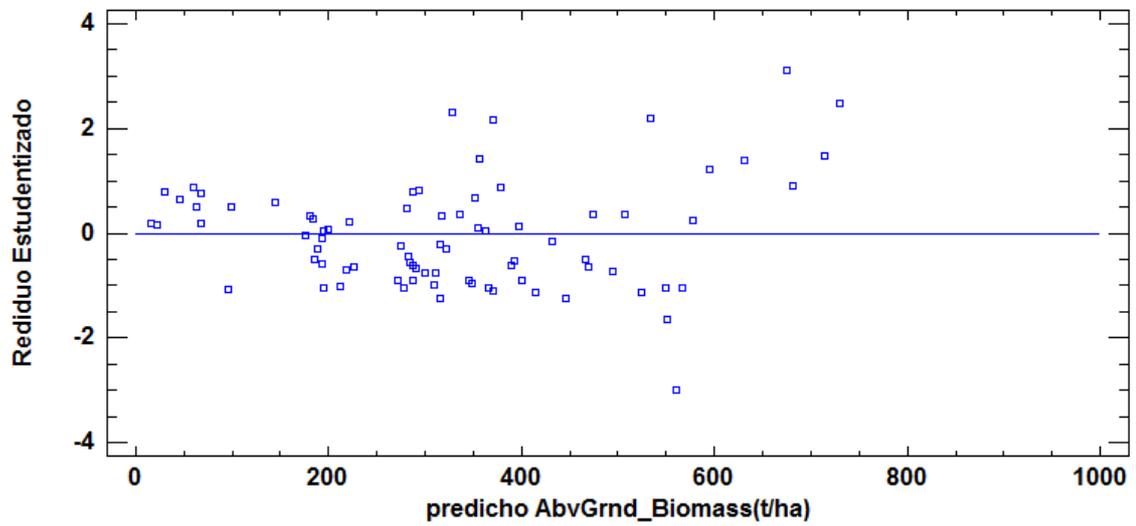


Gráfico de Residuos





## 1.2. Folds

### FOLDS<>1

$$\text{AbvGrnd\_Biomass}(t/ha) = -309.263 + 24.0822 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 6.47123 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 82.3142 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.8296 por ciento  
Error estándar del est. = 81.9962  
Error absoluto medio = 63.4509  
Estadístico Durbin-Watson = 2.06286 (P=0.5929)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0385069

### FOLDS<>2

$$\text{AbvGrnd\_Biomass}(t/ha) = -284.577 + 23.6745 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 4.77386 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 81.7998 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.2943 por ciento  
Error estándar del est. = 85.7295  
Error absoluto medio = 66.746  
Estadístico Durbin-Watson = 2.0031 (P=0.4868)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0126232

### FOLDS<>3

$$\text{AbvGrnd\_Biomass}(t/ha) = -263.765 + 22.5882 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 4.77364 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 81.7358 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.2354 por ciento  
Error estándar del est. = 84.9068  
Error absoluto medio = 66.7044  
Estadístico Durbin-Watson = 1.97378 (P=0.4224)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.00453942

### FOLDS<>4

$$\text{AbvGrnd\_Biomass}(t/ha) = -289.08 + 23.6557 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 5.3287 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 83.5132 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 83.0616 por ciento  
Error estándar del est. = 82.628  
Error absoluto medio = 64.7677  
Estadístico Durbin-Watson = 2.03633 (P=0.5250)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0292455

### FOLDS<>5

$$\text{AbvGrnd\_Biomass}(t/ha) = -267.557 + 23.0347 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 4.84174 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 82.4473 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.9597 por ciento  
Error estándar del est. = 88.316  
Error absoluto medio = 69.9982  
Estadístico Durbin-Watson = 1.99543 (P=0.4562)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0056799



FOLDS<>6

$$\text{AbvGrnd\_Biomass(t/ha)} = -283.659 + 23.4812 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 5.29659 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 82.9884 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.5223 por ciento  
Error estándar del est. = 87.9499  
Error absoluto medio = 70.3685  
Estadístico Durbin-Watson = 1.95773 (P=0.3919)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0120556

FOLDS<>7

$$\text{AbvGrnd\_Biomass(t/ha)} = -259.651 + 22.5421 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 4.75673 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 82.7278 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.2546 por ciento  
Error estándar del est. = 82.8244  
Error absoluto medio = 65.2978  
Estadístico Durbin-Watson = 1.8317 (P=0.2064)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0758282

FOLDS<>8

$$\text{AbvGrnd\_Biomass(t/ha)} = -285.182 + 23.5693 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 5.33111 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 83.7835 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 83.333 por ciento  
Error estándar del est. = 85.9528  
Error absoluto medio = 66.8826  
Estadístico Durbin-Watson = 1.78292 (P=0.1514)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0988233

FOLDS<>9

$$\text{AbvGrnd\_Biomass(t/ha)} = -280.985 + 23.2927 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 5.25847 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 83.1526 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.691 por ciento  
Error estándar del est. = 84.8044  
Error absoluto medio = 66.6518  
Estadístico Durbin-Watson = 1.97015 (P=0.4147)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.00531277

FOLDS<>10

$$\text{AbvGrnd\_Biomass(t/ha)} = -292.851 + 23.9452 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 5.2761 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 84.0534 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 83.6105 por ciento  
Error estándar del est. = 82.3963  
Error absoluto medio = 66.1744  
Estadístico Durbin-Watson = 2.0834 (P=0.6131)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0550612







## 2. Área Basimétrica (Basal Area)

### 2.1. Modelo general

Variable dependiente: BA(m<sup>2</sup>/ha)

VARIABLES INDEPENDIENTES:

Elev L1

Elev L4

$$BA(m^2/ha) = -2.96764 + 2.20549 * Elev L1 + 7.09514 * Elev L4$$

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	-2.96764	3.3027	-0.898552	0.3716
Elev L1	2.20549	0.170409	12.9423	0.0000
Elev L4	7.09514	3.13766	2.26128	0.0264

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	33081.6	2	16540.8	131.84	0.0000
Residuo	10162.2	81	125.46		
Total (Corr.)	43243.9	83			

R-cuadrada = 76.5002 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 75.9199 por ciento

Error estándar del est. = 11.2009

Error absoluto medio = 8.42442

Estadístico Durbin-Watson = 2.33414 (P=0.9307)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.173435

### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

#### Paso 1:

Añadiendo variable Elev L1 con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 75.02% R-cuadrado ajustado = 74.71% CME = 131.753

#### Paso 2:

Añadiendo variable Elev L4 con Alpha a introducir =0.026423

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 76.50% R-cuadrado ajustado = 75.92% CME = 125.46

Gráfico de BA(m<sup>2</sup>/ha)

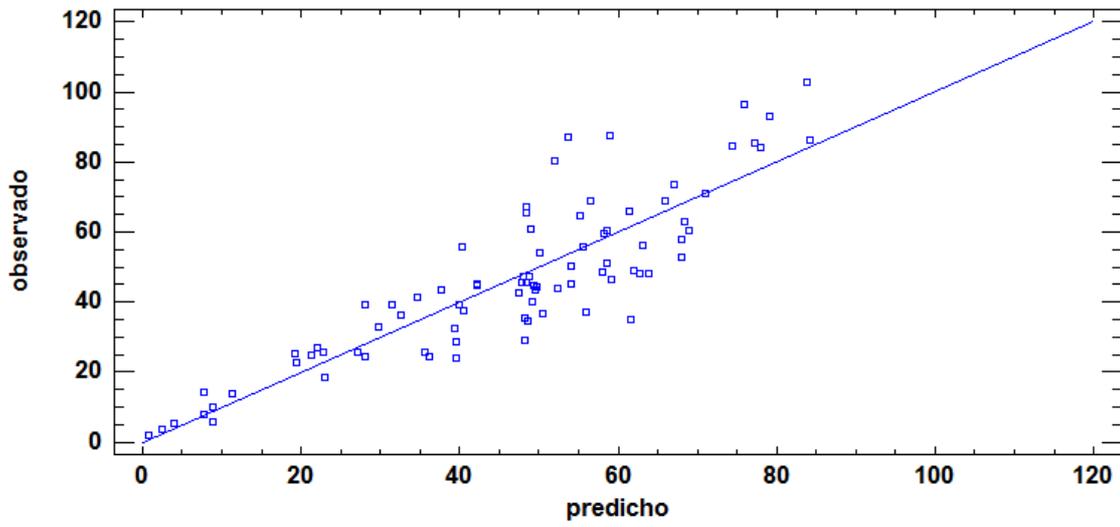
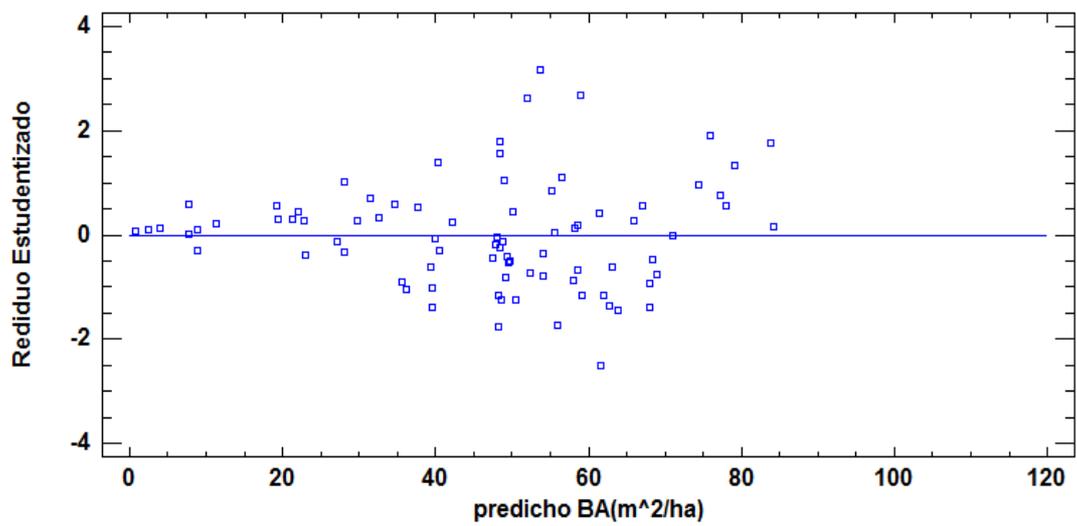


Gráfico de Residuos





## 2.2. Folds

### FOLDS<math>\diamond</math>1

$$BA(m^2/ha) = -3.90648 + 2.18419 * \text{Elev L1} + 8.46341 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 75.3493 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.6739 por ciento  
Error estándar del est. = 10.9486  
Error absoluto medio = 8.37456  
Estadístico Durbin-Watson = 2.28794 (P=0.8866)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.152986

### FOLDS<math>\diamond</math>2

$$BA(m^2/ha) = -3.48184 + 2.43052 * \text{Elev L1}$$

R-cuadrada = 73.3087 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 72.943 por ciento  
Error estándar del est. = 11.4145  
Error absoluto medio = 8.46689  
Estadístico Durbin-Watson = 2.12885 (P=0.7016)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0678878

### FOLDS<math>\diamond</math>3

$$BA(m^2/ha) = -2.40013 + 2.13723 * \text{Elev L1} + 7.81821 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 75.5202 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.8495 por ciento  
Error estándar del est. = 11.3561  
Error absoluto medio = 8.40087  
Estadístico Durbin-Watson = 2.32914 (P=0.9200)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.171968

### FOLDS<math>\diamond</math>4

$$BA(m^2/ha) = -3.63882 + 2.24038 * \text{Elev L1} + 7.05089 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 78.8332 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.2532 por ciento  
Error estándar del est. = 10.638  
Error absoluto medio = 8.01667  
Estadístico Durbin-Watson = 2.27475 (P=0.8697)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.145572

### FOLDS<math>\diamond</math>5

$$BA(m^2/ha) = -1.75012 + 2.1689 * \text{Elev L1} + 6.80101 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 75.9494 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 75.2813 por ciento  
Error estándar del est. = 11.5184  
Error absoluto medio = 8.53461  
Estadístico Durbin-Watson = 2.23277 (P=0.8276)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.122156



FOLDS<>6

$$BA(m^2/ha) = -2.88038 + 2.20868 * Elev L1 + 7.03916 * Elev L4$$

R-cuadrada = 76.2725 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 75.6225 por ciento  
Error estándar del est. = 11.7402  
Error absoluto medio = 8.99275  
Estadístico Durbin-Watson = 2.26447 (P=0.8624)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.138485

FOLDS<>7

$$BA(m^2/ha) = -2.51631 + 2.15827 * Elev L1 + 7.69204 * Elev L4$$

R-cuadrada = 75.4117 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.738 por ciento  
Error estándar del est. = 11.4483  
Error absoluto medio = 8.58582  
Estadístico Durbin-Watson = 2.2111 (P=0.8022)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.112591

FOLDS<>8

$$BA(m^2/ha) = -2.29377 + 2.18299 * Elev L1 + 7.81625 * Elev L4$$

R-cuadrada = 79.5633 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.9957 por ciento  
Error estándar del est. = 10.7243  
Error absoluto medio = 8.07108  
Estadístico Durbin-Watson = 2.15586 (P=0.7327)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0852124

FOLDS<>9

$$BA(m^2/ha) = -2.75876 + 2.37186 * Elev L1$$

R-cuadrada = 75.2533 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.9189 por ciento  
Error estándar del est. = 11.4362  
Error absoluto medio = 8.425  
Estadístico Durbin-Watson = 2.00863 (P=0.4962)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0077228

FOLDS<>10

$$BA(m^2/ha) = -4.2894 + 2.29689 * Elev L1 + 6.57803 * Elev L4$$

R-cuadrada = 77.6274 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.0059 por ciento  
Error estándar del est. = 11.0741  
Error absoluto medio = 8.24018  
Estadístico Durbin-Watson = 2.36501 (P=0.9365)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.183109  
Método: Selección Hacia Adelante







### 3. Diámetro medio cuadrático (Quadratic Mean Diameter)

#### 3.1. Modelo General

Variable dependiente: QMD(cm)

Variabes independientes:

Return 4 count

Elev P01

Elev CURT mean CUBE

$$QMD(cm) = 1.8901 - 0.0421126 * Return\ 4\ count - 4.41512 * Elev\ P01 + 1.43632 * Elev\ CURT\ mean\ CUBE$$

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	1.8901	2.08013	0.908646	0.3663
Return 4 count	-0.0421126	0.0200287	-2.10261	0.0386
Elev P01	-4.41512	1.2852	-3.43536	0.0009
Elev CURT mean CUBE	1.43632	0.0916752	15.6675	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	12370.0	3	4123.34	110.11	0.0000
Residuo	2995.81	80	37.4477		
Total (Corr.)	15365.8	83			

R-cuadrada = 80.5034 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.7723 por ciento

Error estándar del est. = 6.11945

Error absoluto medio = 4.61191

Estadístico Durbin-Watson = 1.98732 (P=0.4389)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.00018716

#### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

#### Paso 1:

Añadiendo variable Elev CURT mean CUBE con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 76.78% R-cuadrado ajustado = 76.50% CME = 43.5026

#### Paso 2:

Añadiendo variable Elev P01 con Alpha a introducir =0.00181934

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 79.43% R-cuadrado ajustado = 78.92% CME = 39.0292

#### Paso 3:

Añadiendo variable Return 4 count con Alpha a introducir =0.0386441

3 variable(s) en el modelo. 80 g.l. para el error.

R-cuadrado = 80.50% R-cuadrado ajustado = 79.77% CME = 37.4477



Gráfico de QMD(cm)

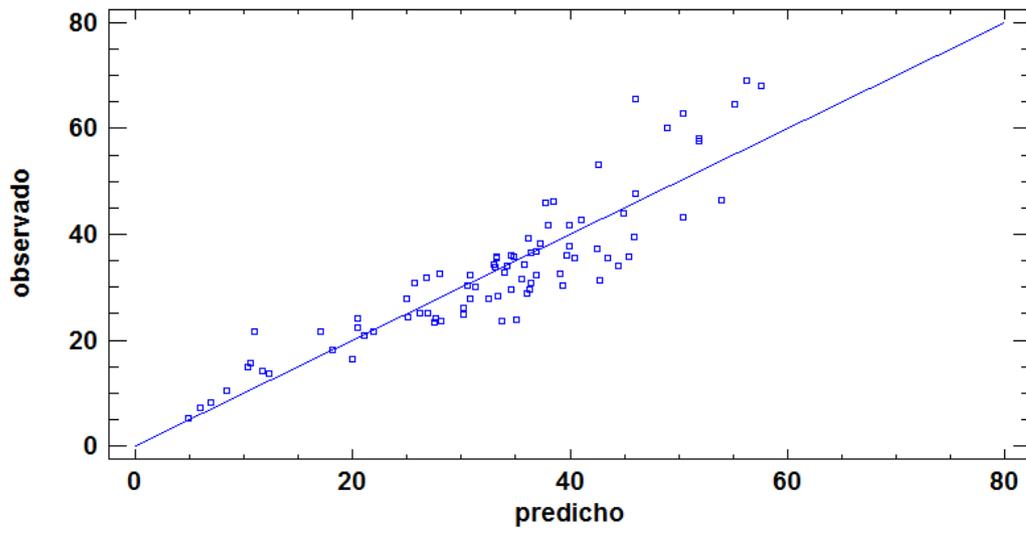
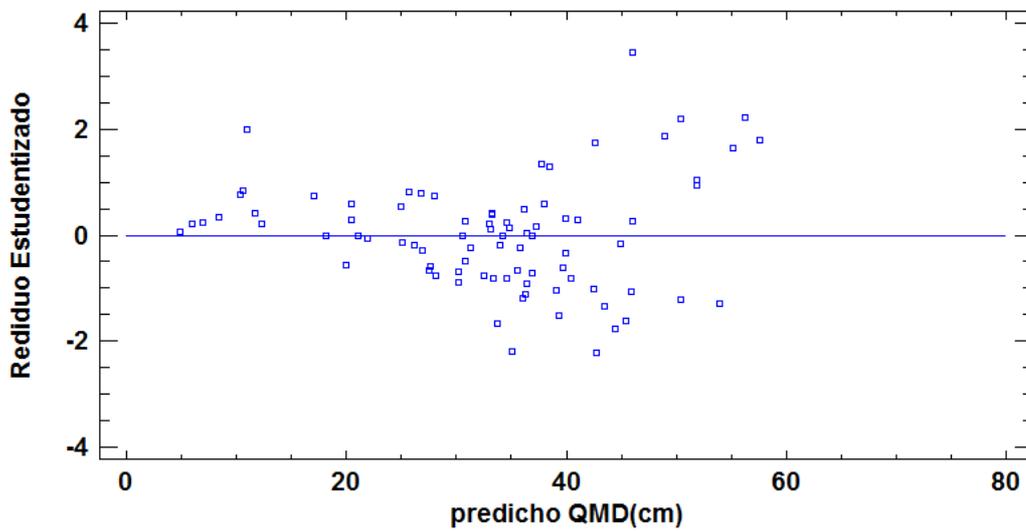


Gráfico de Residuos





### 3.2. Folds

#### FOLDS<>1

$$\text{QMD(cm)} = 2.45716 - 4.17933 * \text{Elev P01} + 1.36804 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 78.8709 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.2921 porciento  
Error estándar del est. = 6.10264  
Error absoluto medio = 4.54385  
Estadístico Durbin-Watson = 2.12263 (P=0.6988)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0645094

#### FOLDS<>2

$$\text{QMD(cm)} = 3.44717 - 4.05576 * \text{Elev P01} + 1.32794 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 77.7629 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.1452 porciento  
Error estándar del est. = 6.1893  
Error absoluto medio = 4.56566  
Estadístico Durbin-Watson = 2.12458 (P=0.6995)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0671378

#### FOLDS<>3

$$\text{QMD(cm)} = 2.84413 - 3.92726 * \text{Elev P01} + 1.35081 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 78.9254 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.348 porciento  
Error estándar del est. = 6.44134  
Error absoluto medio = 4.817  
Estadístico Durbin-Watson = 2.0482 (P=0.5743)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0288156

#### FOLDS<>4

$$0.907281 - 0.0470834 * \text{Return 4 count} - 2.91891 * \text{Elev P01} + 1.46911 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 81.3234 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.5452 porciento  
Error estándar del est. = 5.97845  
Error absoluto medio = 4.47478  
Estadístico Durbin-Watson = 2.10101 (P=0.6258)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0577715

#### FOLDS<>5

$$\text{QMD(cm)} = 1.65216 - 0.0497369 * \text{Return 4 count} - 5.95398 * \text{Elev P01} + 1.48712 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 81.9825 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.2212 porciento  
Error estándar del est. = 6.14795  
Error absoluto medio = 4.64862  
Estadístico Durbin-Watson = 2.14204 (P=0.6965)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0794232



FOLDS<>6

$$\text{QMD(cm)} = 3.49203 - 4.02442 * \text{Elev P01} + 1.3104 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 80.3033 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.7637 porciento  
Error estándar del est. = 6.29646  
Error absoluto medio = 4.62038  
Estadístico Durbin-Watson = 1.99425 (P=0.4733)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.00150156

FOLDS<>7

$$\text{QMD(cm)} = 4.09878 - 4.34507 * \text{Elev P01} + 1.29308 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 79.4684 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.9059 porciento  
Error estándar del est. = 6.2185  
Error absoluto medio = 4.60895  
Estadístico Durbin-Watson = 1.71073 (P=0.0947)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.140297

FOLDS<>8

$$\text{QMD(cm)} = 1.94507 - 0.045379 * \text{Return 4 count} - 4.46825 * \text{Elev P01} + 1.44659 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 81.5325 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.7522 porciento  
Error estándar del est. = 6.22833  
Error absoluto medio = 4.63616  
Estadístico Durbin-Watson = 1.87743 (P=0.2641)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0544181

FOLDS<>9

$$\text{QMD(cm)} = 2.47345 - 0.0411811 * \text{Return 4 count} - 5.65571 * \text{Elev P01} + 1.42894 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 82.8058 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.0893 porciento  
Error estándar del est. = 5.74768  
Error absoluto medio = 4.44617  
Estadístico Durbin-Watson = 1.89984 (P=0.2920)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0419848

FOLDS<>10

$$\text{QMD(cm)} = 2.35187 - 0.0583757 * \text{Return 4 count} - 4.17932 * \text{Elev P01} + 1.42105 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 79.3635 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.4915 porciento  
Error estándar del est. = 6.0814  
Error absoluto medio = 4.55703  
Estadístico Durbin-Watson = 2.01223 (P=0.4825)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0107799







#### 4. Índice de densidad standard (Stand Density Index)

##### 4.1. Modelo general

Variable dependiente: SDI

Variables independientes:

Elev L1

Elev P60

$$SDI = 46.7624 + 23.922 * Elev L1 - 10.4366 * Elev P60$$

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	46.7624	19.4886	2.39948	0.0187
Elev L1	23.922	4.72226	5.0658	0.0000
Elev P60	-10.4366	3.8575	-2.70553	0.0083

##### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	762889.	2	381445.	89.01	0.0000
Residuo	347126.	81	4285.51		
Total (Corr.)	1.11002E6	83			

R-cuadrada = 68.7278 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67.9556 por ciento

Error estándar del est. = 65.4638

Error absoluto medio = 47.5928

Estadístico Durbin-Watson = 2.28756 (P=0.8978)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.158076

##### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

##### Paso 1:

Añadiendo variable Elev L1 con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 65.90% R-cuadrado ajustado = 65.49% CME = 4615.81

##### Paso 2:

Añadiendo variable Elev P60 con Alpha a introducir =0.00831202

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 68.73% R-cuadrado ajustado = 67.96% CME = 4285.51

Gráfico de SDI

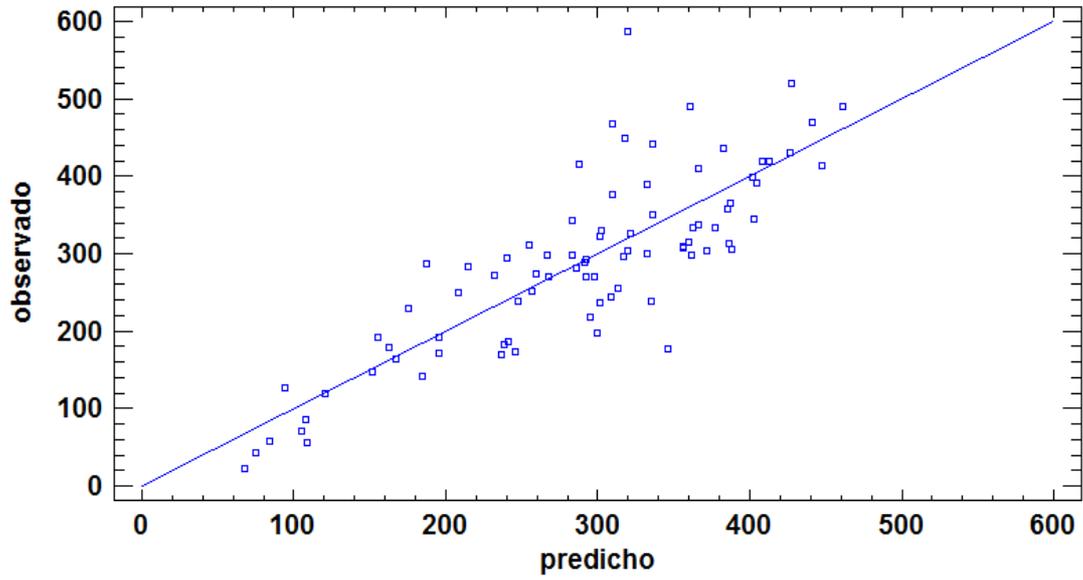
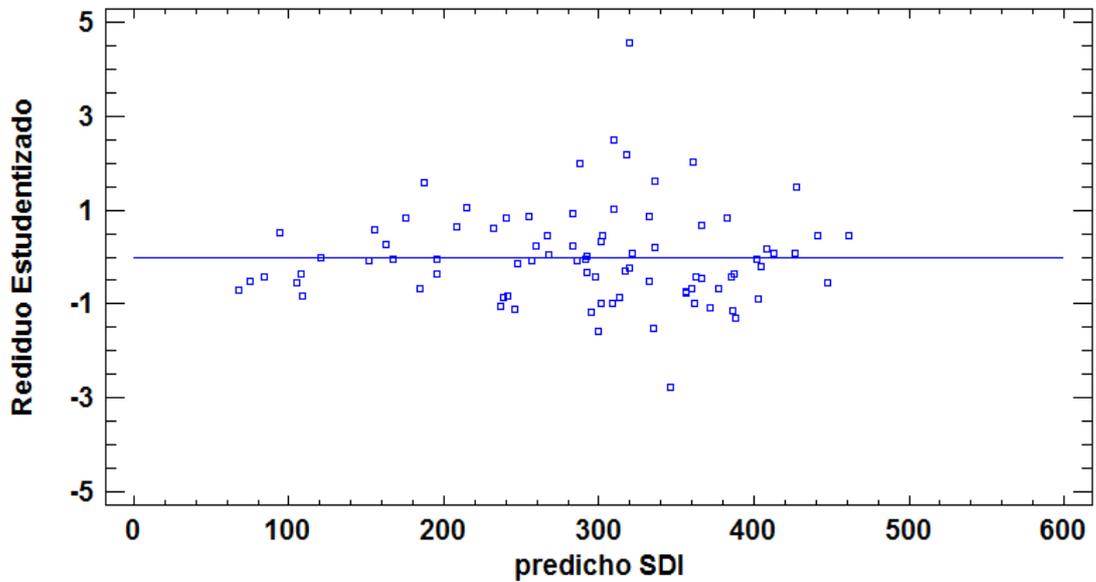


Gráfico de Residuos





## 4.2. Folds

### FOLDS<math>\diamond</math>1

$$SDI = 50.3287 + 24.2444 * \text{Elev L1} - 10.9006 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 65.3672 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 64.4183 porciento  
Error estándar del est. = 65.1907  
Error absoluto medio = 47.7723  
Estadístico Durbin-Watson = 2.26713 (P=0.8693)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.152149

### FOLDS<math>\diamond</math>2

$$SDI = 58.0332 + 11.3183 * \text{Elev L1}$$

R-cuadrada = 64.1395 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 63.6483 porciento  
Error estándar del est. = 65.8683  
Error absoluto medio = 46.27  
Estadístico Durbin-Watson = 2.24398 (P=0.8490)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.12885

### FOLDS<math>\diamond</math>3

$$SDI = 50.981 + 24.735 * \text{Elev L1} - 11.4342 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 67.7926 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 66.9102 porciento  
Error estándar del est. = 65.6706  
Error absoluto medio = 46.3858  
Estadístico Durbin-Watson = 2.27197 (P=0.8758)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.152927

### FOLDS<math>\diamond</math>4

$$SDI = 43.0951 + 23.9047 * \text{Elev L1} - 10.3365 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 73.283 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 72.551 porciento  
Error estándar del est. = 59.5507  
Error absoluto medio = 44.6619  
Estadístico Durbin-Watson = 2.10874 (P=0.6543)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0743065

### FOLDS<math>\diamond</math>5

$$SDI = 54.9454 + 23.0966 * \text{Elev L1} - 10.0317 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 67.9918 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67.1026 porciento  
Error estándar del est. = 66.777  
Error absoluto medio = 48.2682  
Estadístico Durbin-Watson = 2.1374 (P=0.7016)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0829485



FOLDS<>6

$$SDI = 44.9866 + 25.0895 * \text{Elev L1} - 11.3171 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 68.7945 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67.9396 por ciento  
Error estándar del est. = 68.5103  
Error absoluto medio = 50.9478  
Estadístico Durbin-Watson = 2.27085 (P=0.8707)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.150553

FOLDS<>7

$$SDI = 44.5064 + 24.3954 * \text{Elev L1} - 10.783 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 67.4252 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 66.5328 por ciento  
Error estándar del est. = 68.0505  
Error absoluto medio = 49.3957  
Estadístico Durbin-Watson = 2.26438 (P=0.8635)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.147527

FOLDS<>8

$$SDI = 49.0848 + 24.2735 * \text{Elev L1} - 10.7277 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 70.7233 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 69.9101 por ciento  
Error estándar del est. = 65.2201  
Error absoluto medio = 47.6498  
Estadístico Durbin-Watson = 2.23731 (P=0.8366)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.134333

FOLDS<>9

$$SDI = 43.1587 + 24.1717 * \text{Elev L1} - 10.5716 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 68.5243 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67.662 por ciento  
Error estándar del est. = 66.5704  
Error absoluto medio = 48.1348  
Estadístico Durbin-Watson = 2.16191 (P=0.7422)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0971283

FOLDS<>10

$$SDI = 33.9475 + 24.3371 * \text{Elev L1} - 10.1998 * \text{Elev P60}$$

R-cuadrada = 71.6392 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70.8514 por ciento  
Error estándar del est. = 63.8754  
Error absoluto medio = 45.7877  
Estadístico Durbin-Watson = 2.33965 (P=0.9224)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.169929





## 5. Volumen

### 5.1. Modelo general

Variable dependiente: Volume(m3)

Variables independientes:

Elev L1

Elev P25

$$\text{Volume(m3)} = 20.0584 + 10.3395 * \text{Elev L1} + 8.11993 * \text{Elev P25}$$

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	20.0584	26.059	0.76973	0.4437
Elev L1	10.3395	2.27477	4.54528	0.0000
Elev P25	8.11993	2.22798	3.64453	0.0005

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1.83229E6	2	916145.	122.00	0.0000
Residuo	608269.	81	7509.5		
Total (Corr.)	2.44056E6	83			

R-cuadrada = 75.0766 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.4612 por ciento

Error estándar del est. = 86.6573

Error absoluto medio = 60.4513

Estadístico Durbin-Watson = 1.97477 (P=0.4281)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.00434085

### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

#### Paso 0:

0 variable(s) en el modelo. 83 g.l. para el error.

R-cuadrado = 0.00% R-cuadrado ajustado = 0.00% CME = 29404.3

#### Paso 1:

Añadiendo variable Elev L1 con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 70.99% R-cuadrado ajustado = 70.64% CME = 8634.32

#### Paso 2:

Añadiendo variable Elev P25 con Alpha a introducir =0.000471725

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 75.08% R-cuadrado ajustado = 74.46% CME = 7509.5



Gráfico de Volume(m3)

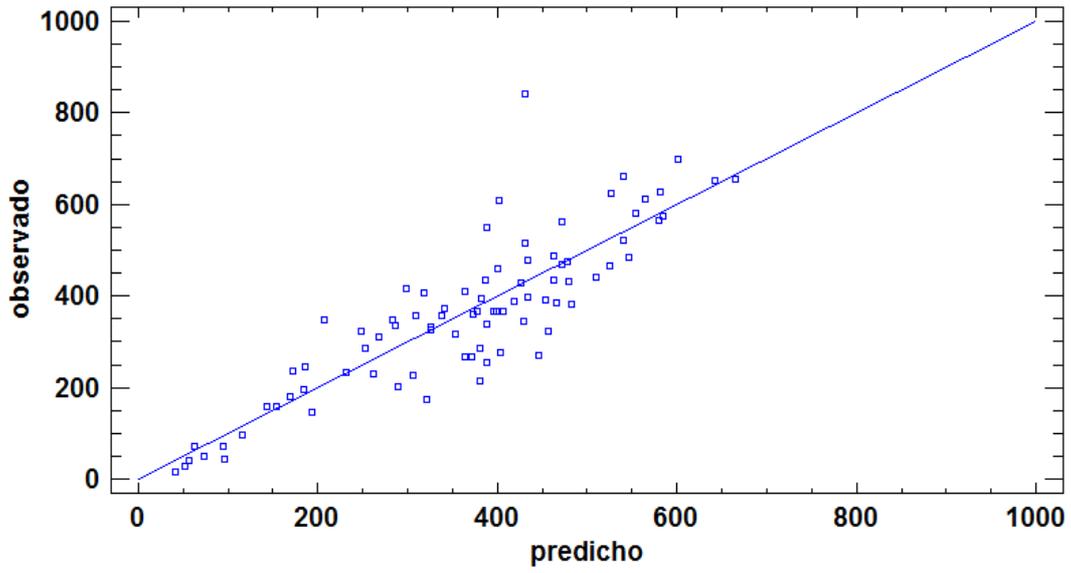
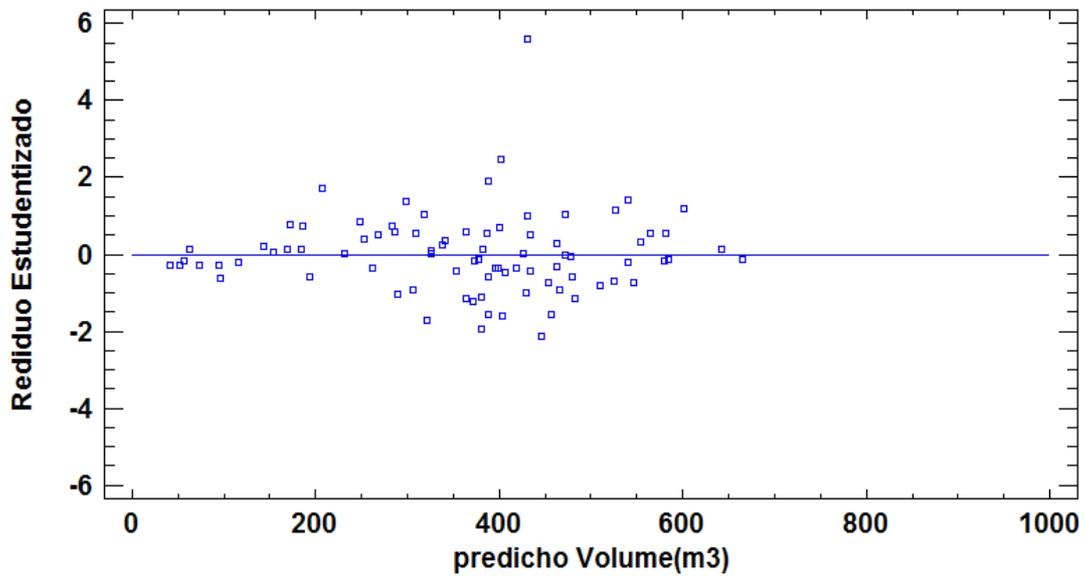


Gráfico de Residuos





## 5.2. Volumen folds

### FOLDS<>1

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 24.2713 + 9.99526 * \text{Elev L1} + 8.2234 * \text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 72.6626 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 71.9137 por ciento  
Error estándar del est. = 86.1934  
Error absoluto medio = 59.9929  
Estadístico Durbin-Watson = 1.99055 (P=0.4636)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0147676

### FOLDS<>2

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 25.442 + 9.73639 * \text{Elev L1} + 8.64306 * \text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 71.2722 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70.4742 por ciento  
Error estándar del est. = 89.4191  
Error absoluto medio = 62.1382  
Estadístico Durbin-Watson = 1.9962 (P=0.4806)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0163779

### FOLDS<>3

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 25.8388 + 9.7702 * \text{Elev L1} + 8.36234 * \text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 74.6446 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 73.9499 por ciento  
Error estándar del est. = 86.743  
Error absoluto medio = 58.6495  
Estadístico Durbin-Watson = 2.01652 (P=0.5073)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0274999

### FOLDS<>4

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 11.5951 + 11.5755 * \text{Elev L1} + 6.95022 * \text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 80.1044 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.5593 por ciento  
Error estándar del est. = 75.7517  
Error absoluto medio = 56.7013  
Estadístico Durbin-Watson = 1.72243 (P=0.0958)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.115717

### FOLDS<>5

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 29.7852 + 10.0115 * \text{Elev L1} + 8.08714 * \text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 74.7312 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.0293 por ciento  
Error estándar del est. = 87.7949  
Error absoluto medio = 59.9645  
Estadístico Durbin-Watson = 2.00057 (P=0.4725)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0179502



FOLDS<>6

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 19.5219 + 10.2371*\text{Elev L1} + 8.44803*\text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 75.7703 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 75.1065 por ciento  
Error estándar del est. = 89.4325  
Error absoluto medio = 62.9228  
Estadístico Durbin-Watson = 2.09747 (P=0.6397)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0665249

FOLDS<>7

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 15.2824 + 10.2471*\text{Elev L1} + 8.44365*\text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 74.4717 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 73.7723 por ciento  
Error estándar del est. = 89.5174  
Error absoluto medio = 62.0234  
Estadístico Durbin-Watson = 1.98055 (P=0.4357)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.00893653

FOLDS<>8

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 23.938 + 9.87054*\text{Elev L1} + 8.72532*\text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 76.6856 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 76.038 por ciento  
Error estándar del est. = 87.3058  
Error absoluto medio = 62.074  
Estadístico Durbin-Watson = 1.90157 (P=0.3097)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0302656

FOLDS<>9

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 16.1753 + 11.0451*\text{Elev L1} + 7.3096*\text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 75.0541 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.3706 por ciento  
Error estándar del est. = 86.7437  
Error absoluto medio = 58.8362  
Estadístico Durbin-Watson = 1.99924 (P=0.4725)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0176411

FOLDS<>10

$$\text{Volume(m}^3\text{)} = 10.4485 + 10.8227*\text{Elev L1} + 8.02779*\text{Elev P25}$$

R-cuadrada = 74.9289 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.2325 por ciento  
Error estándar del est. = 87.884  
Error absoluto medio = 60.4142  
Estadístico Durbin-Watson = 2.04762 (P=0.5584)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.024063





## 6. Altura del dosel (Canopy height)

### 6.1. Modelo General

Variable dependiente: CanopyBaseHeight(m)

Variabes independientes:

Return 4 count

Elev P01

Elev P50

$$\text{CanopyHeight}(m) = 5.28395 - 0.0605786 * \text{Return 4 count} - 3.84917 * \text{Elev P01} + 0.916285 * \text{Elev P50}$$

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	5.28395	1.19745	4.41268	0.0000
Return 4 count	-0.0605786	0.0124999	-4.84633	0.0000
Elev P01	-3.84917	0.853304	-4.8109	0.0000
Elev P50	0.916285	0.053755	17.0456	0.0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	5287.83	3	1762.61	106.98	0.0000
Residuo	1318.14	80	16.4767		
Total (Corr.)	6605.96	83			

R-cuadrada = 80.0462 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.298 porciento

Error estándar del est. = 4.05915

Error absoluto medio = 2.81636

Estadístico Durbin-Watson = 1.70101 (P=0.0733)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.146563

### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

#### Paso 1:

Añadiendo variable Elev P50 con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 69.85% R-cuadrado ajustado = 69.48% CME = 24.2913

#### Paso 2:

Añadiendo variable Return 4 count con Alpha a introducir =0.000108023

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 74.97% R-cuadrado ajustado = 74.35% CME = 20.4125

#### Paso 3:

Añadiendo variable Elev P01 con Alpha a introducir =0.0000218743

3 variable(s) en el modelo. 80 g.l. para el error.

R-cuadrado = 80.05% R-cuadrado ajustado = 79.30% CME = 16.4767



Gráfico de CanopyHeight(m)

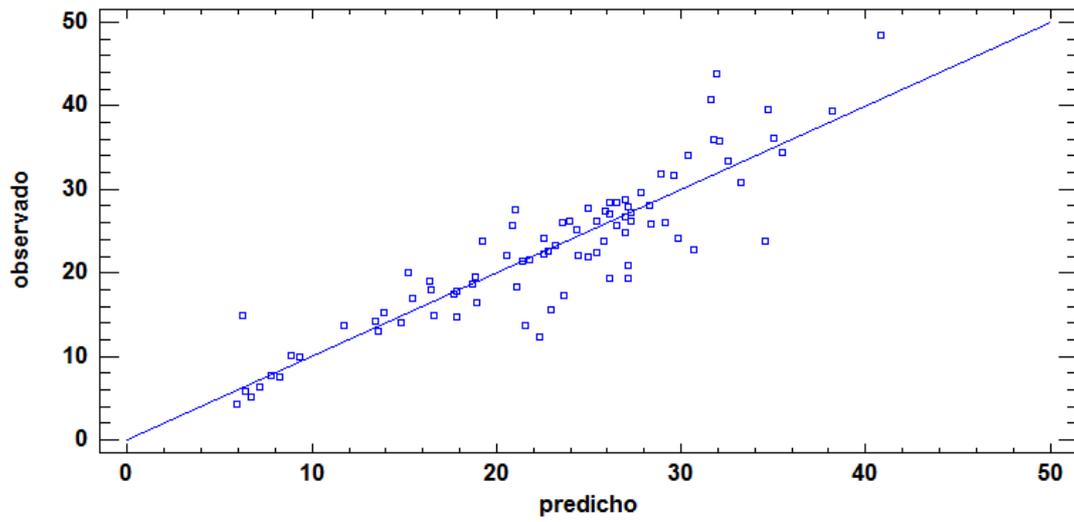
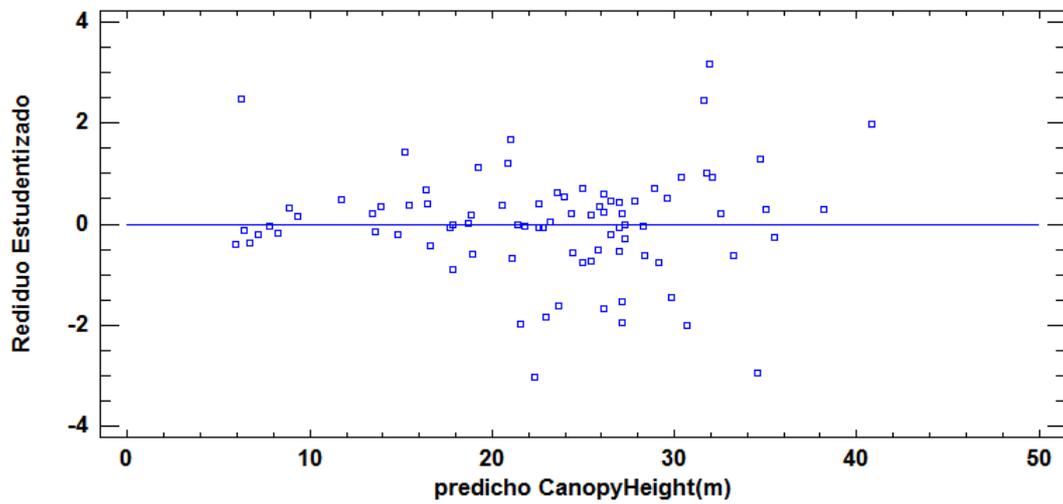


Gráfico de Residuos





## 6.2. Folds

### FOLDS<>1

CanopyHeight(m) = 5.65141 + 0.896081\*Elev P50 - 3.7974\*Elev P01 - 0.0579304\*Return 4  
count

R-cuadrada = 76.6537 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 75.6809 por ciento  
Error estándar del est. = 4.20771  
Error absoluto medio = 2.94607  
Estadístico Durbin-Watson = 1.67337 (P=0.0682)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.160297

### FOLDS<>2

CanopyHeight(m) = 6.07036 + 0.872935\*Elev P50 - 3.73355\*Elev P01 - 0.0559251\*Return 4  
count

R-cuadrada = 74.9893 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 73.9325 por ciento  
Error estándar del est. = 4.18151  
Error absoluto medio = 2.97523  
Estadístico Durbin-Watson = 1.66392 (P=0.0609)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.164981

### FOLDS<>3

CanopyHeight(m) = 4.76138 + 0.932084\*Elev P50 - 3.38871\*Elev P01 - 0.0536055\*Return 4  
count

R-cuadrada = 82.0716 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.3246 por ciento  
Error estándar del est. = 3.9156  
Error absoluto medio = 2.71292  
Estadístico Durbin-Watson = 1.77137 (P=0.1409)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.111081

### FOLDS<>4

CanopyHeight(m) = 4.45251 + 0.941897\*Elev P50 - 2.52084\*Elev P01 - 0.0617378\*Return 4  
count

R-cuadrada = 81.3697 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.5934 por ciento  
Error estándar del est. = 3.96211  
Error absoluto medio = 2.64058  
Estadístico Durbin-Watson = 1.77095 (P=0.1385)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.111503

### FOLDS<>5

CanopyHeight(m) = 5.12377 + 0.95501\*Elev P50 - 5.08167\*Elev P01 - 0.065364\*Return 4  
count

R-cuadrada = 82.3547 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.6092 por ciento  
Error estándar del est. = 3.94377  
Error absoluto medio = 2.73322  
Estadístico Durbin-Watson = 1.69759 (P=0.0808)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.146445



FOLDS<>6

CanopyHeight(m) = 5.25005 + 0.912982\*Elev P50 - 3.78733\*Elev P01 - 0.0596914\*Return 4 count

R-cuadrada = 80.6048 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.7966 por ciento  
Error estándar del est. = 4.15278  
Error absoluto medio = 2.87501  
Estadístico Durbin-Watson = 1.67809 (P=0.0681)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.158012

FOLDS<>7

CanopyHeight(m) = 4.99647 + 0.921452\*Elev P50 - 3.79638\*Elev P01 - 0.0600707\*Return 4 count

R-cuadrada = 80.3478 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.529 por ciento  
Error estándar del est. = 4.12004  
Error absoluto medio = 2.80997  
Estadístico Durbin-Watson = 1.61657 (P=0.0384)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.188828

FOLDS<>8

CanopyHeight(m) = 5.13262 + 0.930105\*Elev P50 - 3.91093\*Elev P01 - 0.0630988\*Return 4 count

R-cuadrada = 81.1493 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.3528 por ciento  
Error estándar del est. = 4.16164  
Error absoluto medio = 2.86805  
Estadístico Durbin-Watson = 1.68015 (P=0.0708)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.156549

FOLDS<>9

CanopyHeight(m) = 5.5928 + 0.916908\*Elev P50 - 4.9919\*Elev P01 - 0.0565497\*Return 4 count

R-cuadrada = 81.425 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.6511 por ciento  
Error estándar del est. = 3.9683  
Error absoluto medio = 2.75311  
Estadístico Durbin-Watson = 1.73977 (P=0.1141)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.126172

FOLDS<>10

CanopyHeight(m) = 5.93637 + 0.882139\*Elev P50 - 3.76619\*Elev P01 - 0.0705753\*Return 4 count

R-cuadrada = 80.4697 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.6444 por ciento  
Error estándar del est. = 3.79377  
Error absoluto medio = 2.7193  
Estadístico Durbin-Watson = 1.72898 (P=0.1023)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.124939







## 7. Altura de la cubierta de copas (Canopy Base Height)

### 7.1. Modelo general

Variable dependiente: CanopyBaseHeight(m)

Variables independientes:

Return 4 count

Elev minimum

Elev P50

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 29.3795 - 0.0522228 * \text{Return 4 count} - 319.359 * \text{Elev minimum} + 0.775966 * \text{Elev P50}$$

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	29.3795	7.54835	3.89218	0.0002
Return 4 count	-0.0522228	0.00963968	-5.41748	0.0000
Elev minimum	-319.359	75.7576	-4.21555	0.0001
Elev P50	0.775966	0.0418297	18.5506	0.0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	3621.88	3	1207.29	122.87	0.0000
Residuo	786.048	80	9.8256		
Total (Corr.)	4407.93	83			

R-cuadrada = 82.1674 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.4987 por ciento

Error estándar del est. = 3.13458

Error absoluto medio = 2.22175

Estadístico Durbin-Watson = 2.11382 (P=0.6615)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0575429

### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

#### Paso 1:

Añadiendo variable Elev P50 con Alpha a introducir = 0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 72.15% R-cuadrado ajustado = 71.81% CME = 14.9708

#### Paso 2:

Añadiendo variable Return 4 count con Alpha a introducir = 0.00000904523

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 78.21% R-cuadrado ajustado = 77.67% CME = 11.86

#### Paso 3:

Añadiendo variable Elev minimum con Alpha a introducir = 0.0000650496

3 variable(s) en el modelo. 80 g.l. para el error.

R-cuadrado = 82.17% R-cuadrado ajustado = 81.50% CME = 9.8256



Gráfico de CanopyBaseHeight(m)

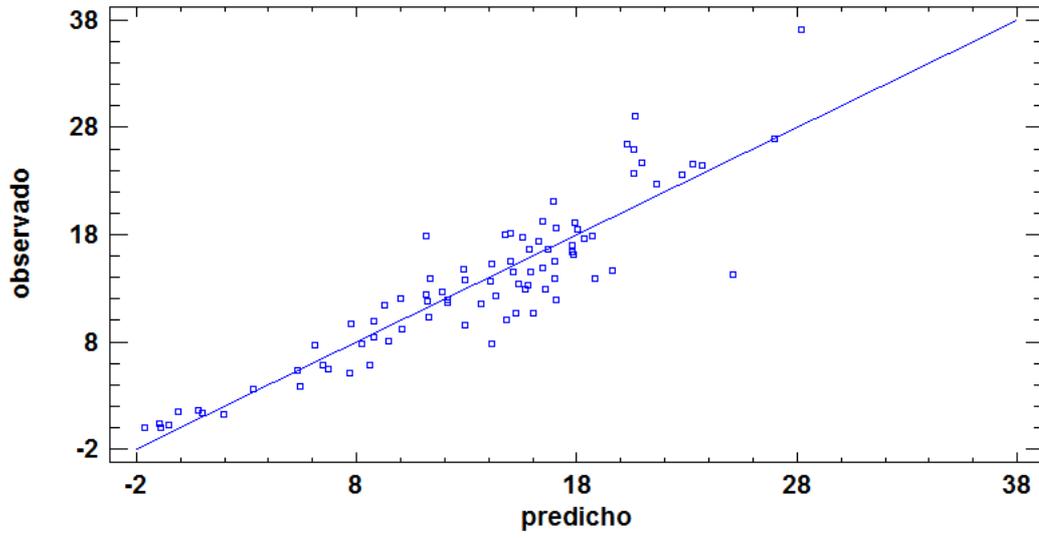
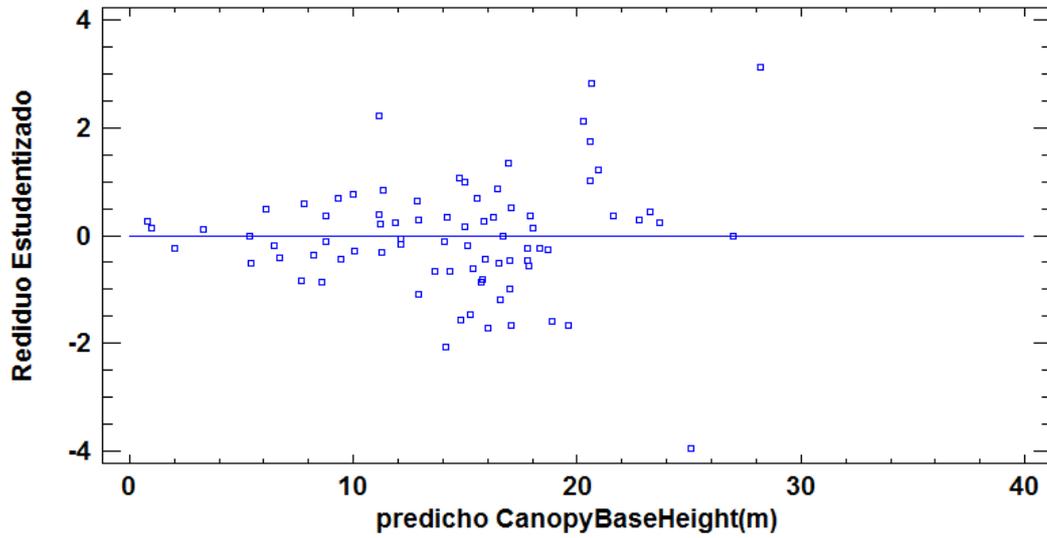


Gráfico de Residuos





## 7.2. Folds

### FOLDS<>1

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 29.4161 - 0.0518422 * \text{Return 4 count} - 320.3 * \text{Elev minimum} + 0.77827 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 79.2899 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.427 porciento  
Error estándar del est. = 3.26547  
Error absoluto medio = 2.32068  
Estadístico Durbin-Watson = 1.85753 (P=0.2382)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0691688

### FOLDS<>2

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 28.4659 - 0.0535811 * \text{Return 4 count} - 307.689 * \text{Elev minimum} + 0.758395 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 79.5548 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.6909 porciento  
Error estándar del est. = 3.04604  
Error absoluto medio = 2.15703  
Estadístico Durbin-Watson = 2.11883 (P=0.6732)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0604194

### FOLDS<>3

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 30.534 - 0.0467036 * \text{Return 4 count} - 336.528 * \text{Elev minimum} + 0.804209 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 85.512 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 84.9083 porciento  
Error estándar del est. = 2.90287  
Error absoluto medio = 2.173  
Estadístico Durbin-Watson = 2.09608 (P=0.6305)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.048552

### FOLDS<>4

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = -2.37476 - 0.0503503 * \text{Return 4 count} + 0.762195 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 80.9879 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.467 porciento  
Error estándar del est. = 3.21314  
Error absoluto medio = 2.25731  
Estadístico Durbin-Watson = 1.86702 (P=0.2416)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0656686

### FOLDS<>5

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 29.9267 - 0.0537284 * \text{Return 4 count} - 324.509 * \text{Elev minimum} + 0.781327 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 82.2084 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.4567 porciento  
Error estándar del est. = 3.21445  
Error absoluto medio = 2.26726  
Estadístico Durbin-Watson = 2.10669 (P=0.6355)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0539902



FOLDS<>6

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 29.476 - 0.0519443 * \text{Return 4 count} - 319.979 * \text{Elev minimum} + 0.775184 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 82.4115 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.6787 por ciento  
Error estándar del est. = 3.241  
Error absoluto medio = 2.31161  
Estadístico Durbin-Watson = 2.12629 (P=0.6701)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0638156

FOLDS<>7

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 29.2055 - 0.0519743 * \text{Return 4 count} - 318.534 * \text{Elev minimum} + 0.777811 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 82.426 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.6937 por ciento  
Error estándar del est. = 3.15713  
Error absoluto medio = 2.24261  
Estadístico Durbin-Watson = 2.10206 (P=0.6301)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0516955

FOLDS<>8

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 29.8834 - 0.0545921 * \text{Return 4 count} - 325.655 * \text{Elev minimum} + 0.78823 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 83.0067 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.2887 por ciento  
Error estándar del est. = 3.232  
Error absoluto medio = 2.27849  
Estadístico Durbin-Watson = 2.09516 (P=0.6184)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0481236

FOLDS<>9

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 28.6451 - 0.0491781 * \text{Return 4 count} - 311.265 * \text{Elev minimum} + 0.772823 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 83.2561 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.5584 por ciento  
Error estándar del est. = 3.08913  
Error absoluto medio = 2.11247  
Estadístico Durbin-Watson = 2.15726 (P=0.7181)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0793948

FOLDS<>10

$$\text{CanopyBaseHeight(m)} = 29.7772 - 0.0582548 * \text{Return 4 count} - 319.426 * \text{Elev minimum} + 0.75169 * \text{Elev P50}$$

R-cuadrada = 82.7278 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.998 por ciento  
Error estándar del est. = 2.94502  
Error absoluto medio = 2.1293  
Estadístico Durbin-Watson = 2.26618 (P=0.8554)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.13808





## 8. Densidad aparente de copas (Canopy Bulk Density)

### 8.1. Modelo general

Variable dependiente: CBD(kg/m<sup>3</sup>)

Variables independientes:

Elev CURT mean CUBE

Elev minimum

Int P10

$$CBD(kg/m^3) = -0.486248 + 4.07053 * Elev\ minimum + 0.00180788 * Int\ P10 + 0.0083836 * Elev\ CURT\ mean\ CUBE$$

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	-0.486248	0.107774	-4.51176	0.0000
Elev minimum	4.07053	1.07198	3.79719	0.0003
Int P10	0.00180788	0.000696931	2.59406	0.0113
Elev CURT mean CUBE	0.0083836	0.000725998	11.5477	0.0000

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.422733	3	0.140911	71.27	0.0000
Residuo	0.158171	80	0.00197714		
Total (Corr.)	0.580904	83			

R-cuadrada = 72.7716 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 71.7505 por ciento

Error estándar del est. = 0.044465

Error absoluto medio = 0.0303779

Estadístico Durbin-Watson = 2.24339 (P=0.8608)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.127218

### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

#### Paso 1:

Añadiendo variable Elev CURT mean CUBE con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 65.36% R-cuadrado ajustado = 64.94% CME = 0.00245391

#### Paso 2:

Añadiendo variable Elev minimum con Alpha a introducir =0.00033259

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 70.48% R-cuadrado ajustado = 69.75% CME = 0.00211698

#### Paso 3:

Añadiendo variable Int P10 con Alpha a introducir =0.0112773

3 variable(s) en el modelo. 80 g.l. para el error.

R-cuadrado = 72.77% R-cuadrado ajustado = 71.75% CME = 0.00197714



Gráfico de CBD(kg/m3)

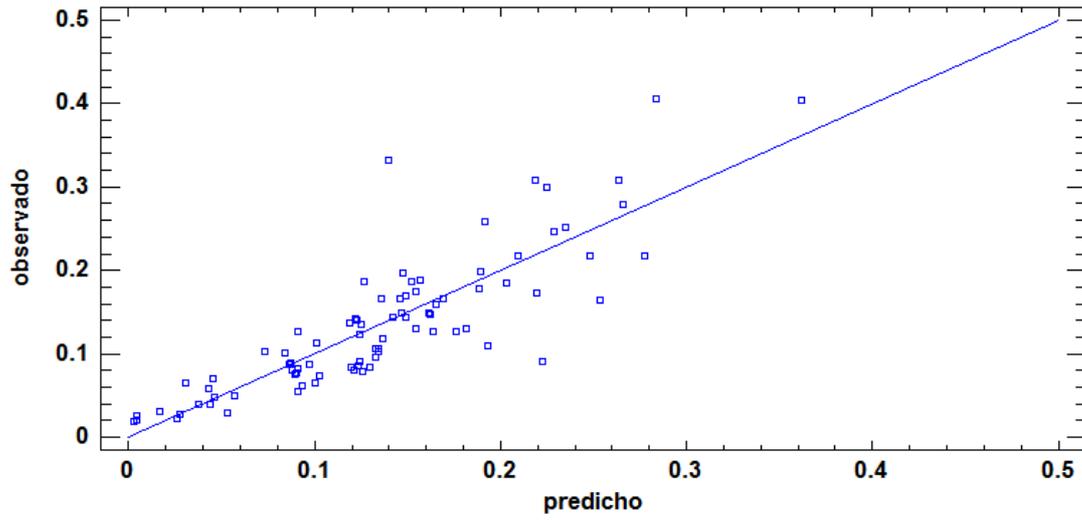
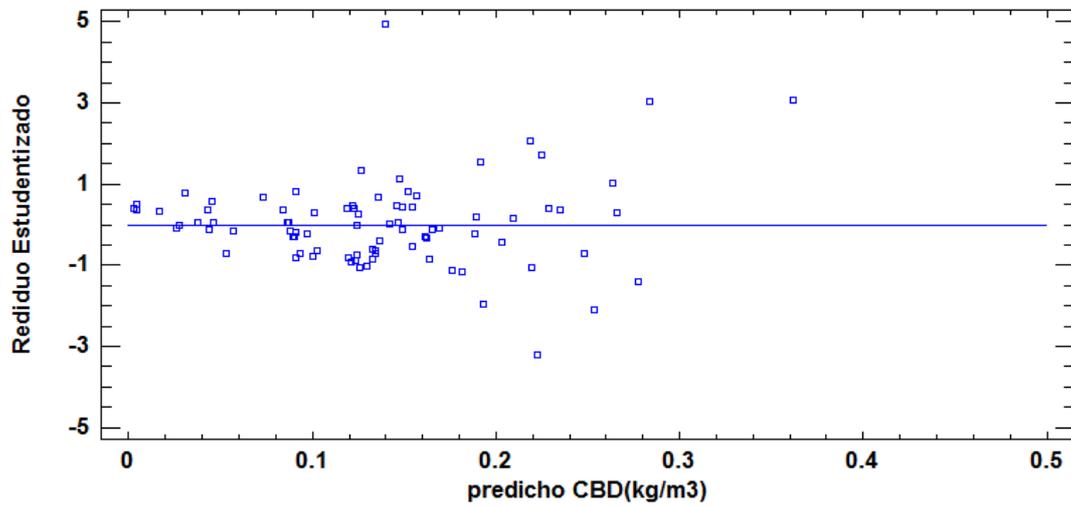


Gráfico de Residuos





## 8.2. Folds

### FOLDS<1

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.497687 + 0.00875652 * \text{Elev CURT mean CUBE} + 4.05329 * \text{Elev minimum} + 0.00243504 * \text{Int P10}$$

R-cuadrada = 70.4824 porciento  
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 69.2525 porciento  
 Error estándar del est. = 0.0452682  
 Error absoluto medio = 0.0317747  
 Estadístico Durbin-Watson = 2.33677 (P=0.9197)  
 Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.173269

### FOLDS<2

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.485868 + 4.1108 * \text{Elev minimum} + 0.00163608 * \text{Int P10} + 0.00822286 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 70.6822 porciento  
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 69.4434 porciento  
 Error estándar del est. = 0.0449976  
 Error absoluto medio = 0.0299276  
 Estadístico Durbin-Watson = 2.21947 (P=0.8242)  
 Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.115734

### FOLDS<3

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.492674 + 4.23757 * \text{Elev minimum} + 0.00163107 * \text{Int P10} + 0.00792016 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 71.6298 porciento  
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70.4477 porciento  
 Error estándar del est. = 0.0440056  
 Error absoluto medio = 0.0303365  
 Estadístico Durbin-Watson = 2.18979 (P=0.7833)  
 Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.100491

### FOLDS<4

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.0831916 + 0.00192696 * \text{Int P10} + 0.00845911 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 75.4569 porciento  
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.7845 porciento  
 Error estándar del est. = 0.0378657  
 Error absoluto medio = 0.0278499  
 Estadístico Durbin-Watson = 2.23865 (P=0.8409)  
 Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.128563

### FOLDS<5

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.483781 + 4.10693 * \text{Elev minimum} + 0.00166737 * \text{Int P10} + 0.00817046 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 72.4842 porciento  
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 71.3215 porciento  
 Error estándar del est. = 0.0458371  
 Error absoluto medio = 0.0310631  
 Estadístico Durbin-Watson = 2.26788 (P=0.8708)  
 Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.139235



FOLDS<>6

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.481386 + 4.03943 * \text{Elev minimum} + 0.00174854 * \text{Int P10} + 0.00836317 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 73.1608 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 72.0425 por ciento  
Error estándar del est. = 0.045977  
Error absoluto medio = 0.0311393  
Estadístico Durbin-Watson = 2.21155 (P=0.8122)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.111224

FOLDS<>7

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.478849 + 4.08947 * \text{Elev minimum} + 0.0016119 * \text{Int P10} + 0.00809198 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 70.9553 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 69.7451 por ciento  
Error estándar del est. = 0.0459681  
Error absoluto medio = 0.0312805  
Estadístico Durbin-Watson = 2.22519 (P=0.8276)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.11729

FOLDS<>8

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.480171 + 4.02713 * \text{Elev minimum} + 0.00177848 * \text{Int P10} + 0.00837254 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 72.9579 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 71.8152 por ciento  
Error estándar del est. = 0.0462676  
Error absoluto medio = 0.0312713  
Estadístico Durbin-Watson = 2.24852 (P=0.8533)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.129545

FOLDS<>9

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.542799 + 4.58049 * \text{Elev minimum} + 0.00188031 * \text{Int P10} + 0.00856535 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 74.2831 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 73.2116 por ciento  
Error estándar del est. = 0.0447338  
Error absoluto medio = 0.0301345  
Estadístico Durbin-Watson = 2.3404 (P=0.9281)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.177185

FOLDS<>10

$$\text{CBD}(\text{kg}/\text{m}^3) = -0.482304 + 0.000416134 * \text{Return 4 count} + 4.52799 * \text{Elev minimum} + 0.00653443 * \text{Elev CURT mean CUBE}$$

R-cuadrada = 77.2085 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 76.2455 por ciento  
Error estándar del est. = 0.0422582  
Error absoluto medio = 0.0287874  
Estadístico Durbin-Watson = 2.33808 (P=0.9238)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.211437





## 9. Carga de combustible en la copa (Canopy Fuel Load)

### 9.1. Modelo general

Variable dependiente: CanopyFuelLoad (t/ha)

Variables independientes:

Elev L1

Elev L4

Canopy relief ratio

***CanopyFuelLoad (t/ha) = 5.67176 + 2.5833\*Elev L1 + 8.48728\*Elev L4 - 28.2717\*Canopy relief ratio***

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	5.67176	5.27088	1.07606	0.2851
Elev L1	2.5833	0.206891	12.4863	0.0000
Elev L4	8.48728	3.119	2.72116	0.0080
Canopy relief ratio	-28.2717	13.2888	-2.12748	0.0365

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	37092.9	3	12364.3	102.92	0.0000
Residuo	9610.66	80	120.133		
Total (Corr.)	46703.6	83			

R-cuadrada = 79.422 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.6503 por ciento

Error estándar del est. = 10.9605

Error absoluto medio = 8.15825

Estadístico Durbin-Watson = 2.35408 (P=0.9395)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.185366

### Regresión por Pasos

Método: Selección Hacia Adelante

Alpha a introducir: 0.05

Alpha a cambiar: 0.05

#### Paso 1:

Añadiendo variable Elev L1 con Alpha a introducir =0

1 variable(s) en el modelo. 82 g.l. para el error.

R-cuadrado = 76.80% R-cuadrado ajustado = 76.51% CME = 132.161

#### Paso 2:

Añadiendo variable Elev L4 con Alpha a introducir =0.0220888

2 variable(s) en el modelo. 81 g.l. para el error.

R-cuadrado = 78.26% R-cuadrado ajustado = 77.72% CME = 125.363

#### Paso 3:

Añadiendo variable Canopy relief ratio con Alpha a introducir =0.0364603

3 variable(s) en el modelo. 80 g.l. para el error.

R-cuadrado = 79.42% R-cuadrado ajustado = 78.65% CME = 120.133

Gráfico de CanopyFuelLoad (t/ha)

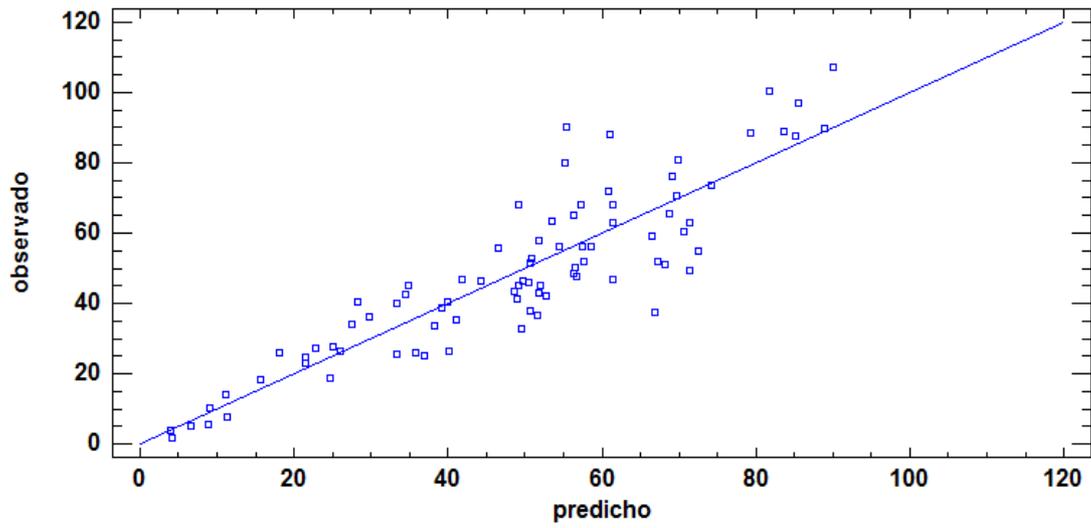
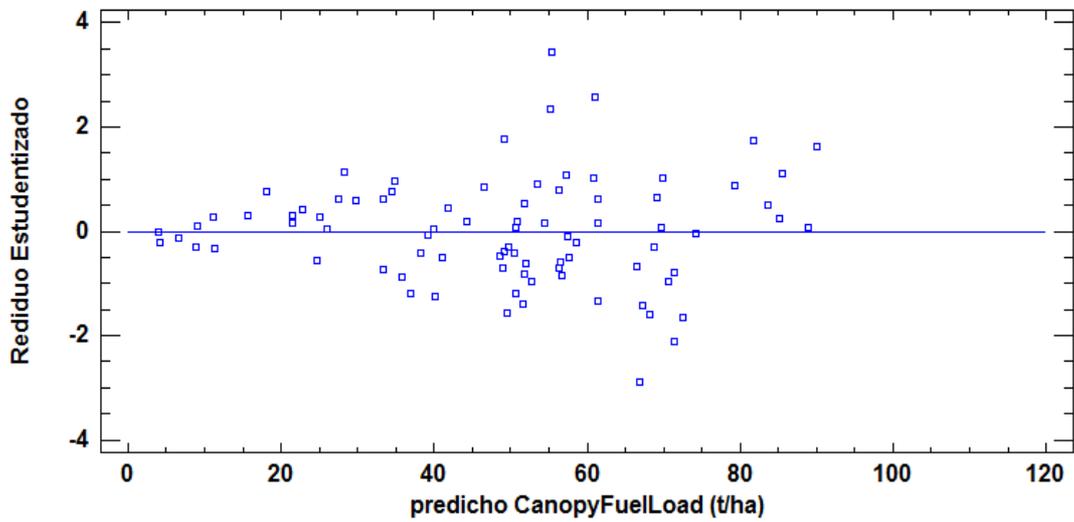


Gráfico de Residuos





## 9.2. Folds

### FOLDS<>1

CanopyFuelLoad (t/ha) = 5.56908 + 2.60581\*Elev L1 + 9.08958\*Elev L4 - 30.1331\*Canopy relief ratio

R-cuadrada = 78.2268 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.3196 por ciento  
Error estándar del est. = 10.7852  
Error absoluto medio = 8.10456  
Estadístico Durbin-Watson = 2.40047 (P=0.9538)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.210936

### FOLDS<>2

CanopyFuelLoad (t/ha) = -3.77233 + 2.55795\*Elev L1

R-cuadrada = 74.9634 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.6205 por ciento  
Error estándar del est. = 11.5055  
Error absoluto medio = 8.74185  
Estadístico Durbin-Watson = 2.21456 (P=0.8168)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.110449

### FOLDS<>3

CanopyFuelLoad (t/ha) = 6.27798 + 2.54164\*Elev L1 + 9.02148\*Elev L4 - 29.2675\*Canopy relief ratio

R-cuadrada = 78.3236 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.4204 por ciento  
Error estándar del est. = 11.2046  
Error absoluto medio = 8.22674  
Estadístico Durbin-Watson = 2.28668 (P=0.8814)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.152924

### FOLDS<>4

CanopyFuelLoad (t/ha) = 4.8535 + 2.62529\*Elev L1 + 8.59955\*Elev L4 - 28.5251\*Canopy relief ratio

R-cuadrada = 82.0956 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.3496 por ciento  
Error estándar del est. = 10.1634  
Error absoluto medio = 7.58194  
Estadístico Durbin-Watson = 2.33424 (P=0.9132)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.178761

### FOLDS<>5

CanopyFuelLoad (t/ha) = 8.43304 + 2.54357\*Elev L1 + 8.93503\*Elev L4 - 31.5673\*Canopy relief ratio

R-cuadrada = 79.2173 por ciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.3391 por ciento  
Error estándar del est. = 11.2014  
Error absoluto medio = 8.15602  
Estadístico Durbin-Watson = 2.23536 (P=0.8271)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.125599



FOLDS<>6

$$\text{CanopyFuelLoad (t/ha)} = -3.06163 + 2.32215 * \text{Elev L1} + 7.19846 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 78.0087 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.4062 porciento  
Error estándar del est. = 11.72  
Error absoluto medio = 9.16354  
Estadístico Durbin-Watson = 2.28442 (P=0.8809)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.148273

FOLDS<>7

$$\text{CanopyFuelLoad (t/ha)} = -2.62165 + 2.26962 * \text{Elev L1} + 8.09149 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 77.4334 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 76.8151 porciento  
Error estándar del est. = 11.3823  
Error absoluto medio = 8.74958  
Estadístico Durbin-Watson = 2.20706 (P=0.7972)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.110376

FOLDS<>8

$$\text{CanopyFuelLoad (t/ha)} = -2.53658 + 2.30298 * \text{Elev L1} + 7.88901 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 80.58 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.0405 porciento  
Error estándar del est. = 10.9087  
Error absoluto medio = 8.32021  
Estadístico Durbin-Watson = 2.219 (P=0.8153)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.116258

FOLDS<>9

$$\text{CanopyFuelLoad (t/ha)} = 5.49309 + 2.59784 * \text{Elev L1} + 7.57783 * \text{Elev L4} - 28.2675 * \text{Canopy relief ratio}$$

R-cuadrada = 79.5277 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.6747 porciento  
Error estándar del est. = 10.9557  
Error absoluto medio = 8.02597  
Estadístico Durbin-Watson = 2.18059 (P=0.7581)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0994636

FOLDS<>10

$$\text{CanopyFuelLoad (t/ha)} = -4.81945 + 2.43628 * \text{Elev L1} + 6.58781 * \text{Elev L4}$$

R-cuadrada = 79.7868 porciento  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.2253 porciento  
Error estándar del est. = 10.958  
Error absoluto medio = 8.38951  
Estadístico Durbin-Watson = 2.42399 (P=0.9633)  
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.212959





## B. VUELO

En este apartado se describe otras características y el preprocesado del vuelo LiDAR y de la nube de puntos.

Entre los datos la empresa WaterShed también se incluye:

- Todos los datos de puntos en formato \*.las versión 1.2. (Asociado con valores RGB)
- Modelo de suelo ESRI GRID con resolución de 1 metro.
- Imágenes de intensidad con resolución de 0.5 metros en formato GeoTIFF.
- Un shapefile del área con un mosaico de 500 x 500 metros.
- Informe de los datos especificando la adquisición, el procesado y las estadísticas.

En lo relativo a las precisiones de los puntos:

Precisión relativa: hace referencia a la coherencia interna del conjunto de los datos y se mide como la divergencia entre los puntos de las diferentes líneas de vuelo dentro de una zona de solape. La divergencia es más evidente cuando las líneas de vuelo son opuestas. Cuando el sistema LiDAR está bien calibrado, la divergencia línea a línea es baja (<10 cm). La consistencia interna se ve afectada por las compensaciones de las orientaciones del sistema (cabeceo, balanceo y guiñada), espejo (escala) y deriva GPS /IMU.

Se toman medidas para mejorar la precisión relativa tales como: vuelo con una altitud baja, enfoque del láser de huella de haz estrecho, reducción del ángulo de barrido, mejora del sistema GPS, levantamiento topográfico, 50% de solape lateral, líneas de vuelo con sentido opuesto.

Metodología de Calibración de Precisión Relativa:

1. Calibración manual del sistema.
2. Calibración automática de Orientaciones.
3. Calibración automática de Z

Las estadísticas se basan en la comparación de 78 líneas de vuelo y más de 300 millones de puntos.

- Media del proyecto = 0,05 metros
- Mediana de la precisión relativa = 0,05 metros
- $1\sigma$  Precisión relativa = 0,05 metros
- $2\sigma$  Precisión relativa = 0,06 metros

Precisión Absoluta: compara puntos del levantamiento conocidos mediante cinemático de tiempo real (RTK) con el punto de láser más cercano. Para el área de estudio Panther Creek, se recogieron 530 puntos RTK.

Tamaño de la muestra n=530	
RMSE=0.03m	
Desviación Estándar	Desviaciones
1 sigma $\sigma=0.03m$	Mínimo $\Delta z=-0.10m$
2 sigma $\sigma=0.06m$	Máximo $\Delta z=0.08m$
	Media $\Delta z=0.02$

Se describe el preprocesado LiDAR y el software asociado a cada uno:



- La resolución de las correcciones cinemáticas para la posición del avión usando GPS cinemático y los datos GPS estático.

Software: v.8.20 GraphNav Waypoint, v.1.63 Trimble Geomatics Office

- Desarrollo de una mejor estimación de la trayectoria suavizada (SBET) fusionando los archivos en postproceso de la posición de la aeronave con los datos de orientación. La posición del sensor de cabeceo y de la orientación fueron calculados durante todo el vuelo. Los datos SBET se utilizaron ampliamente para el procesamiento de los puntos láser.

Software: IPAS Pro v.1.35

- Se calcula la posición del punto láser asociando la posición SBET para cada tiempo de retorno, el ángulo de barrido, la intensidad, etc. Creación de la nube de puntos punto láser para todo el vuelo en formato \*.las (ASPRS v.1.2).

Software: ALS Post Processing Software v.2.70

- Importación de los puntos láser en archivos manejables (menos de 500 MB) para llevar a cabo la calibración manual de la precisión relativa y el filtrado de pozos y aves. Los puntos de tierra se clasifican para cada línea de vuelo.

Software: TerraScan v.10.009

- La precisión relativa se comprueba usando los puntos clasificados para cada línea de vuelo. Las calibraciones automatizadas línea a línea se realizan a partir de los parámetros de orientación del sistema (cabeceo, balanceo, guiñada), del espejo (escala) y del sistema GPS/IMU. Cada línea de vuelo se utilizó para la calibración relativa.

Software: TerraMatch v.10.004.

- Los datos de posición y de orientación se importan al software correspondiente. Los datos resultantes se clasifican como puntos del terreno y de no terreno. La precisión absoluta se determina a partir de la comparación de los puntos clasificados como suelo y los obtenidos del levantamiento RTK. A continuación los datos altimétricos se convierten a elevaciones ortométricas NAVD88 y usando las correcciones de Geoid03. Los modelos del terreno se crean a partir de mallas triangulares y exportadas como rejilla de ArcINFO en formato ASCII.

Software: TerraScan v.10.009, TerraModeler v.10.006.

### **C. FUSION**

En este apartado se describe otras de las características de FUSION.



En FUSION los datos están clasificados en seis categorías:

- Las imágenes pueden ser cualquier imagen georreferenciada (ortofotos) u otras imágenes obtenidas de análisis espacial.
- Los datos en bruto incluyen los propios datos LIDAR, o un fichero de puntos con coordenadas.
- Los puntos de interés puede ser cualquier capa de puntos, de líneas o de polígonos que proporcionas información visual o de localización.
- Hotspots son marcadores que permiten enlazar con referencias externas como imágenes, sitios web...
- Árboles contiene datos medidos en campo, representando árboles individuales.
- Los modelos de superficie representan el suelo o la superficie de las copas, debe estar en formato de cuadrícula. FUSION utiliza el formato PLANS para sus modelos de superficie y tiene la capacidad de convertir diferentes tipos de formato al formato propio.

El software LDV asociado a la visualización de datos LiDAR dispone de diferentes funciones de asignación (snap) para ayudar a la medición:

- Colocar una marca en la elevación del punto más bajo en el área de medición (el marcador de la posición no se mueve).
- Colocar una marca en la elevación del punto más alto en el área de medición (el marcador de la posición no se mueve).
- Colocar marca a la elevación del punto más cercano al marcador.
- Mover el marcador hasta el punto más bajo en el área de medición actual.
- Mover el marcador hasta el punto más alto en el área de medición actual.
- Mover el marcador al punto más cercano al marcador
- Poner el marcador sobre la elevación del modelo de superficie.
- Cambiar la forma y la alineación del marcador de medición para ajustarse mejor a los puntos que representa la copa del árbol.

Existen varios switches comunes a todos los programas de FUSION-LTK que son los siguientes:

- Interactive: presenta una interfaz basada en diálogos. El switch /interactive no es compatible con la mayoría de los programas.
- quiet: suprime la presentación de toda la información de estado durante la ejecución.
- verbose: muestra la información de estado que ejecuta un programa. La información puede describir el progreso de análisis o simplemente proporcionar una indicación de que el programa todavía se está ejecutando.
- NewLog: borra el archivo LTKCL\_master.log existente y crea un nuevo archivo de registro.
- log: *name*: utiliza el nombre especificado para el archivo de registro.
- versión: muestra la información de la versión del programa.
- locale: ajusta la lógica del programa de entrada y salida a los formatos numéricos específicos de la localización (por ejemplo, usar una coma como separador decimal).



Esta opción también cambia el separador de coma que se utiliza para los datos de salida tales como los archivos CSV generados por CloudMetrics y GridMetrics.

Por último en la tabla siguiente se describe los diferentes programas, que están disponibles en FUSION para el procesar los datos.

Nombre de programa	Categoría	Descripción
ASCII2DTM	Conversión	Convierte un DTM raster ASCII en formato PLANS
ASCIIImport	Conversión	Convierte un formato ASCII LIDAR en LDA o LAS
CanopyModel	Punto	Crea un modelo de copas desde una nube de puntos
Catalog	Punto	Crea un reporte describiendo el conjunto de datos LIDAR y opcionalmente todos los archivos de FUSION
ClipData	Punto	Une diferentes muestras usando las esquinas inferior izquierda y la superior derecha
ClipDTM	Superficie	Recorta una porción de MDT usando una extensión dada por el usuario
CloudMetrics	Punto	Calcula la métrica para un conjunto de datos LIDAR
Cover	Punto	Calcula la cobertura estimada usando el modelo de superficie y la nube de puntos
CSV2Grid	Conversión	Convierte los datos guardados en CSV (separado por comas) en formato mdt PLANS
DensityMetrics	Punto	Calcula la métrica de densidad de punto usando elevaciones basadas en porciones
DTM2ASCII	Conversión	Convierte ficheros MDT PLANS en ficheros raster ASCII
DTM2ENVI	Conversión	Convierte ficheros mdt PLANS en ficheros standard de ENVI con fichero de cabecera asociado
DTM2TIF	Conversión	Convierte ficheros mdt PLANS en imágenes en escala de grises en formato TIF
DTM2XYZ	Conversión	Convierte ficheros mdt PLANS en puntos XYZ
DTMDescribe	Otros	La cabecera del archive de formato PLANS dtm sale en formato CSV
DTMHeader	Info	Muestra información de la cabecera para formatos PLANS de mdt y permite editar algún elemento
FilterData	Punto	Aplica varios filtros a los retornos.
FirstLastReturn	Punto	Extrae el primer y último retorno de la nube de puntos
GridMetrics	Punto	Calcula la métrica de los puntos que caen en cada celda

GridSample	Superficie	Extrae muestras de los valores de la cuadrícula alrededor de la posición X, Y.
GridSurfaceCreate	Punto	Crea un modelo de superficie en forma de rejilla a partir de puntos
GridSurfaceStats	Superficie	Calcula el área y el volumen del terreno. El resultado es una capa raster.
GroundFilter	Punto	Filtra la nube de puntos para identificar a los puntos del terreno
ImageCreate	Punto	Crea una imagen a partir de los ficheros LIDAR, usando valores de intensidad y una escala de colores.
IntensityImage	Punto	Crea imágenes usando valores de intensidad a partir de una nube de puntos.
LDA2ASCII	Conversión	Convierte puntos guardados en format LDA a format de texto ASCII.
LDA2LAS	Conversión	Convierte archivos de punto en formato LDA a formato LAS
MergeData	Punto	Une varias nubes de puntos en un solo archivo.
MergeDTM	Superficie	Une varios archivos MDT en un solo archivo
MergeRaster	Superficie	Une varios archivos raster ASCII en un solo archivo
PolyClipData	Punto	Recorta la nube de puntos usando polígonos en format shp.
ReturnDensity	Punto	Crea una capa raster conteniendo el número de retornos para cada celda.
SurfaceSample	Superficie	Interpola valores de superficie para posiciones X,Y.
SurfaceStats	Superficie	Calcula el área y el volumen para toda la superficie. El resultado es un único conjunto de valores.
TiledImageMap	Imagen	Creates HTML web page linking a master image to individual image tiles using an HTML image map
TINSurfaceCreate	Punto	Crea modelos de superficie usando todos los puntos de los archivos LIDAR.
UpdateIndexChecksum	Otros	Actualiza la suma de comprobación usada con Updates the checksum used with archive de índice de datos.
ViewPic	Imagen	Permite la visualización de una imagen guardada en varios formatos.
XYZ2DTM	Conversión	Crea un fichero mdt PLANS a partir de un fichero de puntos XYZ.
XYZConvert	Conversión	Convierte los ficheros ASCII en format LDA además de



		crear la indexión de los archivos LDA.
--	--	--

