



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE AGRIMENSURA

Proyecto para optar al Título de Ingeniero Agrimensor

***“DETECCIÓN DE ZONAS DEL BOSQUE NATIVO  
POTENCIALMENTE INVADIDAS POR ESPECIES EXÓTICAS  
A PARTIR DE DATOS LIDAR”***

*AUTORES:*

Carolina Cottens Orsi  
Mauricio Manasliski Di Pascua

*TUTOR:*

Ing. Agrimensor Hebenor Bermúdez Banchemo

Montevideo, Uruguay

Junio de 2018

## 1. PÁGINA DE APROBACIÓN

---

### FACULTAD DE INGENIERÍA

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba el Proyecto de Fin de Carrera:

**Título:**

*“Detección de zonas del bosque nativo potencialmente invadidas por especies exóticas a partir de datos LiDAR”*

**Autores:**

*Carolina Cottens Orsi y Mauricio Manasliski Di Pascua*

**Tutor:**

*Prof. Adj. Hebenor Bermúdez Banchero*

**Carrera:**

Ingeniería en Agrimensura

**Puntaje:**

**Tribunal:**

*Prof. Adj.*

---

*Prof. Adj.*

---

*Prof. Adj.*

---

22 de Junio de 2018

## **2. AGRADECIMIENTOS**

---

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro Tutor, Ing. Agrimensor Hebenor Bermúdez Banchemo, docente del Departamento de Geomática del Instituto de Agrimensura, quien fue una gran guía en nuestra etapa final de la carrera y se brindó con total disposición desde siempre.

Agradecer también a los docentes del Departamento de Geomática, Ing. Agrimensor Edison Rosas e Ing. Agrimensor Luis Calderón, quienes estuvieron a disposición para ayudarnos en todo momento.

Agradecemos especialmente al Ing. Agrimensor Miguel de Castro, oriundo y radicado en el Departamento de Treinta y Tres, quien nos facilitó de gran forma la logística en nuestra visita a campo y estuvo a total disposición durante esa etapa del proyecto. A su vez, dar gracias a los propietarios de los predios visitados, quienes fueron muy amables y nos permitieron ingresar con total libertad.

Finalmente, agradecer a nuestras familias y amigos que fueron el gran sostén para llegar a esta etapa de nuestras vidas, con todo su incondicional apoyo.

### 3. TABLA DE CONTENIDO

---

<b>1. PÁGINA DE APROBACIÓN</b> .....	2
<b>2. AGRADECIMIENTOS</b> .....	3
<b>3. TABLA DE CONTENIDO</b> .....	4
<b>4. RESUMEN</b> .....	9
<b>5. PALABRAS CLAVES</b> .....	11
<b>6. OBJETIVO</b> .....	12
<b>7. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
7.1 Definiciones y conceptos.....	13
7.2 Planteo del problema.....	17
7.3 Justificación.....	18
7.4 Vuelo LiDAR y obtención de la información base.....	20
7.5 Tareas a desarrollar .....	21
<b>8. INTRODUCCIÓN A LOS DATOS LiDAR</b> .....	23
8.1 Historia .....	23
8.2 Definición de LiDAR .....	24
8.3 Adquisición de datos LiDAR .....	27
8.3.1 Obtención de los datos LiDAR .....	27
8.3.2 Gestión de los datos crudos.....	29
8.3.3 Generación de modelos digitales .....	30
8.4 Atributos de los datos LiDAR.....	31
8.4.1 Clasificaciones .....	32
8.4.2 Retornos de los pulsos láser .....	34
8.5 Formatos y Atributos .....	35
8.5.1 Formato “.las” .....	35
8.5.2 Atributos .....	37
<b>9. ANTECEDENTES</b> .....	39
9.1 Ley Forestal Nacional.....	39
9.2 Trabajos e investigaciones .....	40
9.2.1 Evaluación de la estructura horizontal y vertical del bosque nativo usando LiDAR.....	41
9.2.2 Obtención de variables forestales a partir de datos LiDAR .....	45
9.2.3 Cartografía de Vegetación en la Comunidad de Madrid utilizando información LiDAR .....	51

<b>10. METODOLOGÍA</b> .....	56
10.1 Estudio de las especies invasoras en el bosque nativo.....	56
10.2 Elección de softwares para el tratamiento de los datos LiDAR .....	66
10.2.1 Resumen .....	66
10.2.2 Opciones investigadas .....	66
10.3 Conceptos y marco teórico empleado .....	69
10.4 Elección de las zonas a estudiar según el vuelo LiDAR.....	74
10.5 Procesamiento de los datos .....	77
10.5.1 Filtrado y análisis de los datos crudos.....	77
10.5.2 Generación de modelos de superficie (MDS).....	79
10.5.3 Generación de modelos de terreno (MDT) .....	86
10.5.4 Generación de modelos de alturas (MDA) .....	89
10.5.5 Análisis de los modelos y cálculo de altura media .....	91
10.5.6 Determinación de las zonas potenciales de invasión.....	95
10.5.7 Generación de modelos de intensidad y densidad.....	100
10.6 Visita a las zonas estudiadas .....	106
10.6.1 Planificación del viaje a Treinta y Tres .....	106
10.6.2 Reconocimiento de las zonas .....	108
<b>11. RESULTADOS</b> .....	110
11.1 Resultados del procesamiento .....	110
11.2 Resultados de la visita a campo .....	128
<b>12. ANÁLISIS GENERAL</b> .....	141
<b>13. CONCLUSIONES</b> .....	148
<b>14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	150
<b>15. ANEXOS</b> .....	153

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Captura de datos LiDAR desde un avión .....	25
Imagen 2: Esquema de retorno de pulsos láser .....	26
Imagen 3: Sensor LiDAR montado en un avión .....	29
Imagen 4: MDT sin líneas de ruptura y con líneas de ruptura.....	31
Imagen 5: Clasificación de los datos LiDAR.....	34
Imagen 6: Esquema de retornos de los pulsos láser.....	35
Imagen 7: Ejemplo de archivo de cabecera .....	36
Imagen 8: Comparativa de atributos según el formato .....	37
Imagen 9: Gleditsia Triacanthos.....	61

Imagen 10: Distribución de la especie.....	62
Imagen 11: Distribución de la especie.....	62
Imagen 12: Ejemplar adulto de Gleditsia Triacanthos .....	63
Imagen 13: Distribución de la especie.....	64
Imagen 14: Ejemplares adultos de Ligustro .....	65
Imagen 15: Función de densidad de probabilidad.....	72
Imagen 16: Zonas elegidas para el trabajo .....	75
Imagen 17: Zona total del vuelo LiDAR.....	76
Imagen 18: Zonas seleccionadas dentro del vuelo total.....	76
Imagen 19: Dataset con puntos de alturas superiores a 700 m .....	77
Imagen 20: Vista lateral de los puntos (.las) .....	78
Imagen 21: Vista lateral de los puntos (modelo) .....	78
Imagen 22: Opciones de cálculo de valor de celda.....	82
Imagen 23: Opciones de relleno de celdas .....	83
Imagen 24: “Sampling type” y “Sampling value” utilizados.....	85
Imagen 25: Modelo digital de superficie obtenido .....	86
Imagen 26: Distribución de los puntos “.las” clasificados como suelo.....	87
Imagen 27: Modelo digital de elevaciones obtenido.....	88
Imagen 28: Rango de valores del MDA .....	89
Imagen 29: Modelo digital de alturas obtenido.....	90
Imagen 30: Perfil LiDAR mostrando el estrato predominante .....	91
Imagen 31: Perfil LiDAR mostrando zonas superiores al estrato predominante .....	91
Imagen 32: Valores estadísticos del modelo ráster.....	93
Imagen 33: Tabla de límites de altura calculados .....	94
Imagen 34: Píxeles con alturas mayores a la altura límite .....	96
Imagen 35: Puntos con alturas superiores a los 15 m.....	97
Imagen 36: Distribución espacial de las zonas.....	98
Imagen 37: Zonas seleccionadas a visitar .....	99
Imagen 38: Zonas seleccionadas a visitar .....	99
Imagen 39: Vista global de las zonas.....	100
Imagen 40: Modelo de Intensidad .....	102
Imagen 41: Modelo de densidad .....	104
Imagen 42: Tabla de atributos de capa de puntos .....	105
Imagen 43: Recorrido realizado por el bosque nativo .....	109
Imagen 44: Modelo de alturas sobre imagen satelital .....	112
Imagen 45: Modelos del “norte” (6 cuadrados).....	113
Imagen 46: Modelos del “norte” (4 bloques faltantes).....	113

Imagen 47: Modelos del “sur” (3 bloques).....	114
Imagen 48: Valores de alturas para cada archivo procesado .....	115
Imagen 49: Modelo digital de altura 1 .....	116
Imagen 50: Modelo de altura 1 con zona de interés.....	117
Imagen 51 Modelo digital de altura 2: .....	117
Imagen 52: Modelo digital de altura 2 – Zona de interés.....	118
Imagen 53: Modelo digital de altura 3 .....	119
Imagen 54: Modelo de altura – Zona de interés .....	120
Imagen 55: Modelo digital de altura 4 .....	120
Imagen 56: Modelo de altura 5 – Zona de interés .....	121
Imagen 57: Modelo digital de altura 6 .....	122
Imagen 58: Modelo de altura 6 – Zonas de interés .....	122
Imagen 59: Modelo digital de altura 7 .....	123
Imagen 60: Modelo digital de altura 8 .....	124
Imagen 61: Modelo de altura 8 – Zonas de interés .....	124
Imagen 62: Modelo de altura 9.....	125
Imagen 63: Zonas seleccionadas (al norte) .....	126
Imagen 64: Zonas seleccionadas (al sur).....	127
Imagen 65: Registro de las zonas (norte) .....	129
Imagen 66: Registro de las zonas (sur).....	130
Imagen 67: Zona 1 .....	131
Imagen 68: Zona 1 .....	131
Imagen 69: Zona 1 .....	131
Imagen 70: Zona 1 .....	131
Imagen 71: Perfil de la zona 1 - Eucaliptus .....	132
Imagen 72: Perfil de la zona 1 de Eucaliptus desde otro ángulo.....	132
Imagen 73: Zona 2 .....	134
Imagen 74: Perfil LiDAR de zona 2 .....	134
Imagen 75: Vista son zoom de la zona 3 .....	135
Imagen 76: Zona 3 con zoom activado en la cámara.....	136
Imagen 77: Perfil LiDAR de zona 3 .....	136
Imagen 78: Zona 4 .....	137
Imagen 79: Perfil LiDAR de la zona 4 .....	137
Imagen 80: Palmeras .....	138
Imagen 81: Palmeras .....	139
Imagen 82: Palmeras .....	139
Imagen 83: Palmeras .....	139

Imagen 84: Perfil LiDAR Palmeras.....	140
Imagen 85: Perfil LiDAR Palmeras.....	140
Imagen 86: Panorámica del bosque nativo sobre arroyo Parao.....	140
Imagen 87: Perfil LiDAR mostrando el estrato predominante .....	140



## **4. RESUMEN**

---

El presente trabajo tiene como objetivo la detección de especies leñosas exóticas invasoras en el bosque nativo a través del procesamiento de datos LiDAR. La información base fue proporcionada por el MTOP cuya extensión abarca parte de la cuenca del arroyo Parao en el departamento de Treinta y Tres.

La motivación principal para la realización de este trabajo fue utilizar la tecnología LiDAR aplicada en la problemática que existe en los bosques nativos del Uruguay en cuanto a la invasión de especies exóticas.

Este trabajo establece una metodología para la detección de zonas del bosque nativo potencialmente invadidas. Esto incluye la generación de modelos digitales de alturas (a partir de la información LiDAR), así como la visita y el reconocimiento en campo con el fin de validar la metodología empleada y los resultados obtenidos.

Como resultados para la zona de estudio se obtuvieron modelos digitales de alturas en formato ráster, en los cuales se identificaron zonas de alturas que se destacan por sobre el estrato promedio del dosel del bosque nativo. Estas zonas detectadas, como zonas potencialmente invadidas, fueron visitadas en campo con el fin de validar lo mostrado en los modelos y reconocer la presencia o no de especies exóticas

invasoras. In situ se pudo comprobar que efectivamente existen árboles de altura destacada (entre 12m y 27m aprox.) en las zonas elegidas, tal cual mostraban los modelos.

En cuanto al grado de invasión se puede afirmar que no es importante ya que los árboles detectados por su altura y reconocidos en campo no corresponden a las especies problemáticas como la *Gleditsia Triacanthos*, el Ligustro o la Morera.

## **5. PALABRAS CLAVES**

---

Altura; Bosque Nativo; DoseL; Especies Invasoras; Estrato; LiDAR; Modelos Digitales; Perfil; Relevamiento.

## 6. OBJETIVOS

---

### ***Objetivo general***

El objetivo general del presente trabajo es desarrollar y aplicar una metodología basada en técnicas de análisis de datos LiDAR que permita detectar zonas en el bosque nativo que estén potencialmente invadidas por Especies Exóticas Invasoras (EEI).

### ***Objetivos específicos***

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- Investigar y explorar diversas herramientas que permitan realizar un correcto análisis y procesamiento de datos LiDAR.
- Aportar en el estudio de la problemática de las EEI en los bosques nativos ribereños del Uruguay a partir de datos LiDAR.
- Probar y aplicar una metodología en una determinada zona (parte del bosque nativo de alguna región del Uruguay) potencialmente invadida por especies exóticas.

## 7. INTRODUCCIÓN

---

### 7.1 Definiciones y Conceptos

A continuación se dan algunas definiciones y conceptos sobre los cuales se hará mención a lo largo del informe.

*Definiciones dadas por la Base de datos de Invasiones Biológicas para Uruguay<sup>1</sup>:*

**Dosel forestal:** es la línea imaginaria que une los puntos extremos o copas de los individuos (árboles) componentes de un macizo forestal o bosque.

**Especie exótica:** organismo originario de provincias biogeográficas (terrestres y acuáticas) diferentes a las comprendidas en el territorio y/o aguas uruguayas y que actualmente integra la fauna y/o flora del país de forma silvestre o en cautiverio (no están consideradas aquellas especies confinadas en jardines zoológicos ni especies de explotación tradicional ganadera). Su arribo pudo deberse a dispersión pasiva o mediada, aunque en general se encontró asociada a factores humanos y su arribo fue originado por introducción intencional o accidental.

**Especies invasoras:** organismos exóticos que lograron por diferentes mecanismos biológicos y ambientales establecerse y dispersarse de manera sostenida ocasionando efectos negativos en la biodiversidad autóctona, disturbios ambientales, efectos económicos y/o en la salud

---

<sup>1</sup> Ver Bibliografía

humana. El proceso mediante el cual estas especies se establecieron en Uruguay se denomina invasión biológica y de forma genérica, incluyó las fases de introducción, establecimiento, naturalización y rápida dispersión fuera de los rangos normales.

*Definiciones dadas por el Grupo Guayubirá<sup>2</sup>:*

***Bosque Nativo.-***

El llamado monte (o bosque) natural (o indígena o espontáneo) es una asociación heterogénea de árboles y arbustos que se desarrollan sin la intervención humana. Su composición es variable, tanto a nivel nacional como dentro de un mismo monte, debido a factores climáticos, edáficos, hídricos, etc. A nivel nacional, está compuesto por unas 100 especies arbóreas y otras tantas arbustivas, en su mayoría de hoja perenne.

Pese a que algunas especies pueden adquirir buen porte forestal, el monte en su conjunto alcanza en general un porte mediano (6-8 metros de altura y 10-20 cms de diámetro), con una alta proporción de árboles ramosos y de fuste tortuoso. Su densidad es muy variable, constituyendo en algunos casos montes ralos y en otros una vegetación muy densa y enmarañada con características selváticas.

En general se entiende que el monte natural es de crecimiento relativamente lento en comparación con los bosques artificiales y que su turno de explotación para leña oscila entre los 20 y 30 años. Las especies

---

<sup>2</sup> Ver Bibliografía

que lo componen se regeneran naturalmente y en su mayoría tienen la particularidad de rebrotar de cepa al ser cortadas.

*Definiciones dadas por la Sociedad de Productores Forestales de Uruguay<sup>3</sup>:*

El monte nativo adquiere diferentes características dependiendo de los ambientes en los que se desarrolla. En Uruguay los montes nativos se pueden clasificar en:

**Monte de galería o de ribera:** Se ubica acompañando los principales cursos y espejos de agua del país y se desarrolla tanto en las márgenes de los cursos de agua como en las de lagunas e islas vinculadas a los mismos.

**Monte Serrano:** En cuanto a extensión, es la segunda formación boscosa de importancia en el país luego del monte ribereño. Se trata de una formación que se desarrolla en áreas pedregosas que incluyen cerros, sierras, asperezas y mares de piedra, normalmente asociados a cursos de agua y manantiales.

**Palmares:** Si bien en el país hay varias especies de palmas, sólo tres de ellas (butiá, yatay y poñi) forman palmares casi puros. Los palmares más extensos son los de butiá (*Butiá capitata*) en el este del País vinculados a tipos de suelos pesados y húmedos. En el noroeste (Paysandú y Río Negro) se encuentran los palmares de yatay (*Butiá yatay*) que se

---

<sup>3</sup> Ver Bibliografía

desarrollan sobre suelos mejor drenados y arenosos. Por su parte, la pequeña palma poñí se desarrolla en algunos cerros chatos de Rivera, formando palmares puros como en el caso del cerro Miriñaque. La palma pindó (también llamada chirivá) está presente en gran parte de los montes del país (a veces en gran abundancia), pero sólo excepcionalmente como formación pura.

**Monte de parque:** Es una formación típica de la cuenca del río Uruguay, presente desde Artigas hasta Colonia, que se caracteriza por la presencia de especies arbóreas y arbustivas que se desarrollan dispersas en un tapiz vegetal de pradera. En términos generales se lo encuentra ubicado entre el monte ribereño y la pradera típica, desprovista de árboles. Si bien está compuesto por numerosas especies, las más comunes son el algarrobo, el ñandubay y el espinillo y según cual predomine se lo denomina algarrobal, ñandubaysal o espinillar.

**Monte de quebrada:** En Uruguay existen numerosas quebradas que se extienden desde el norte hasta el sureste. Se trata de valles profundos excavados por cursos de agua, con paredes rocosas de pendientes muy pronunciada y a veces casi verticales. El ambiente húmedo, con menor luminosidad y protegido de los vientos determina un microclima muy particular que a su vez da lugar a un tipo de monte con características propias. Los árboles son aquí mucho más altos y con mayores diámetros pese a que en general se trata de las mismas especies.



## 7.2 Planteamiento del problema

De acuerdo al Comité Nacional de Especies Exóticas Invasoras (CEEI)<sup>4</sup>, algunas de las especies exóticas leñosas invasoras en los bosques nativos del Uruguay generan impactos negativos, tanto en términos ecológicos como económicos. Por ejemplo la “Acacia de tres espinas” (*Gleditsia triacanthos*), el “Ligustro” (*Ligustrum lucidum*) y el “Tojo” (*Ulex europaeus*).

Los bosques nativos constituyen importantes productores de servicios ecosistémicos (también llamados servicios ambientales). Entre los que se incluyen la regulación y provisión de agua en calidad y cantidad, la captura de carbono, la conservación de suelos y de la diversidad biológica, y las oportunidades para el turismo y la recreación.

La invasión de estas especies a nuestros montes nativos fue consecuencia de la dispersión a través de distintas vías, desde otros ambientes. Su alta capacidad de producción de semillas, la facilidad de desplazamiento por el agua y el viento de las mismas, sumado a la actividad de las aves e incluso en algunos casos del ganado, son factores que favorecen su diseminación. Las condiciones propias de los suelos del bosque nativo, rico en materia orgánica, adecuados niveles de humedad, temperatura y sombra, proporcionan un ambiente propicio para el

---

<sup>4</sup> **Dra. Ana Aber**

Coordinadora del Comité de Especies Exóticas Invasoras, Depto. de Control de Especies y Bioseguridad, División Biodiversidad, DINAMA – MVOTMA

**Comité Nacional de Especies Exóticas Invasoras**

Coordinación DINAMA - MVOTMA

Comité Editor: Ana Aber, Stella Zerbino, Juan F. Porcile, Rosina Seguí, Raquel Balero

desarrollo de estas especies. Esto ha conducido a una creciente degradación de la diversidad de especies y funciones ecológicas. Estas especies representan una amenaza para la integridad y la función de los ecosistemas y por lo tanto del bienestar humano.

### 7.3 Justificación

A modo de antecedentes, no se encontró evidencia de que se haya realizado la detección de especies exóticas invasoras (en adelante EEI) a partir de información LiDAR en nuestro País. Está claro que para hacer frente a la problemática de EEI es necesario detectarlas y conocer geográficamente dónde se establecen o dónde se están reproduciendo (más allá de prevenir la invasión en una primera instancia).

Existen diversas formas o métodos para realizar esto. Con los avances tecnológicos seguramente la tendencia será que surjan metodologías cada vez más eficaces y eficientes.

En este trabajo, se desarrollará y aplicará una metodología basada en la tecnología de sistemas LiDAR, a partir de la cual se pueden generar diferentes tipos de modelos digitales (terreno y superficie) y sobre estos realizar cálculos y análisis que permitan obtener resultados e información que posteriormente podrá ser contrastada en la realidad.

El empleo de sensores remotos como el LiDAR puede aportar información valiosa de la superficie terrestre. La gran precisión que poseen estos

datos permite su uso para múltiples aplicaciones, entre ellas la clasificación de la superficie terrestre, la estimación de parámetros forestales a nivel de masa o de árbol individual y la estimación de biomasa. Un sensor LiDAR es capaz de capturar múltiples retornos para cada uno de los pulsos emitidos sobre el terreno. De ahí que el uso de los sistemas LiDAR permite levantar información tridimensional (coordenadas x, y, z) de la cobertura de la tierra y de los objetos situados encima de ella (*González, Víctor H. y otros, 2013*).

Teniendo esto presente, es una buena alternativa trabajar con información LiDAR para caracterizar el bosque nativo, detectar y ubicar geográficamente potenciales zonas que estén invadidas con EEI.

El Ingeniero Agrimensor, con formación en teledetección, percepción remota, datos espaciales, manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), etc, puede aportar mucho desde este enfoque, y con ésta técnica a aquellas instituciones estatales y organizaciones no gubernamentales que se dedican específicamente a prevenir, detectar, controlar y erradicar las invasiones de especies leñosas exóticas en el Uruguay.

## 7.4 Vuelo LiDAR y obtención de la información base

La información procesada en el presente proyecto fue relevada por la empresa “2000 Aviation” el 16 de diciembre de 2016 y fue proporcionada por el MTOP a través del Catálogo de Datos Abiertos del Gobierno Uruguayo. El vuelo abarca aproximadamente 30.852 háas extendiéndose en la zona comprendida desde 10 km aguas arriba del puente de la Ruta Nacional N° 18 hasta la desembocadura del Río Cebollatí en la zona de La Charqueada y su objetivo fue la realización de un estudio hidrológico en el área.

Tuvo una duración total de 4hs 40min habiéndose realizado en dos etapas:

- Etapa 1 : Hora de inicio del relevamiento: 11:30hs  
Hora de finalización del relevamiento: 15:10hs
- Etapa 2: Hora de inicio del relevamiento: 17:20hs  
Hora de finalización del relevamiento: 18:20hs

En cuanto a las características generales del vuelo, el mismo se realizó a una altura promedio de 810m y una velocidad de 240 km/h. El equipo utilizado para la realización del mismo fue “*Lidar litemapper 5600*” con una densidad de puntos de 1 punto/m<sup>2</sup>. Los errores de los puntos del vuelo están entre 15 y 20 cm en planimetría y entre 5 y 10 cm en altimetría.

La totalidad de datos del vuelo fue almacenada en 566 archivos en formato “.las” o “.laz” cuyo sistema de referencia es WGS84 proyección

UTM 21S. Cada uno de estos archivos abarca una zona cuadrada de 1km de lado, y en conjunto con los datos se contaba con un archivo índice. Este último tiene formato shape, cuyas entidades son polígonos los cuales tienen asignado un atributo con el nombre del archivo de puntos correspondiente a la zona abarcada por el mismo.

Del total de archivos “.las” solo se trabajó con las zonas que abarcaban el monte nativo al norte de la ciudad de Vergara. Estos archivos utilizados cuentan con unos 2.8 millones de puntos en promedio cada uno, los cuales están categorizados de acuerdo al tipo de retorno (en este caso 1er retorno, 2do retorno y ultimo retorno), y también según códigos de clasificación (en este caso 1-No asignado, 2-Suelo, 7-Ruido, 12-Reservado).

## **7.5 Tareas a desarrollar**

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se deben desarrollar una serie de tareas, tanto de campo como de gabinete.

Podemos diferenciar 3 etapas en las tareas:

- Recopilación de antecedentes
- Planteamiento de la metodología y procesamiento en gabinete
- Reconocimiento en campo de áreas de interés detectadas

En cuanto a la recopilación de antecedentes, es un punto muy importante dentro de este proyecto ya que se deben realizar estudios sobre diversos temas que son fundamentales para el desarrollo del trabajo. Podemos

distinguir 3 grandes temas a estudiar, que son: los datos LiDAR y trabajos e investigaciones realizadas con este tipo de datos; las herramientas de procesamiento y análisis de los mismos, y el estudio de las especies invasoras en los bosques nativos de Uruguay.

Estos tres temas estudiados, permitirán dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados y a su vez son fundamentales para el desarrollo y planteo de la metodología de trabajo.

La tarea de procesamiento implica la implementación de la metodología y el uso de las herramientas, que según investigaciones previas son las más acordes para el trabajo que se quiere realizar. En este punto es donde se desarrollarán las tareas que permiten cumplir con el objetivo principal del trabajo, es decir la detección de áreas con posible presencia de especies invasoras.

Por último, el reconocimiento en campo es una forma de validar o no aquello que se obtiene en el procesamiento, es decir, poder confirmar si lo que se obtiene al procesar los datos puede ser o no una especie invasora.

## **8. INTRODUCCIÓN A LOS DATOS LiDAR**

---

Para este capítulo se ha consultado la publicación hecha en el año 2011 por Antonio San José Albacete, (Master en Tecnologías de la Información)<sup>5</sup>.

### **8.1 Historia**

Los estudios y ensayos relativos al desarrollo y la implementación de los sistemas láser para aplicaciones relacionadas con la altimetría se iniciaron en la década de los años 60. A partir de los años 80, esta tecnología se empezó a aplicar a estudios atmosféricos, análisis volumétricos y análisis de composición de los materiales.

Sin embargo, hasta finales de los años 90 esta tecnología no se aplicó a la fotogrametría y la teledetección, así como a proyectos de desarrollo de bases de datos geospaciales. Estos proyectos se centraron en el uso de información altimétrica para apoyar proyectos fotogramétricos, como por ejemplo, la producción de ortofotos y ortoimágenes o la generación de curvas de nivel, ambos apoyados en Modelos Digitales de Elevaciones.

El uso de los sistemas LiDAR se debe principalmente a los avances tecnológicos (tanto en capacidad de almacenamiento como de procesamiento) que han permitido gestionar este tipo de datos. Esto,

---

<sup>5</sup> Ver Bibliografía

combinado con la disposición cada vez mayor de información GNSS (Global Navigation Satellite System), permite la captura de una elevada densidad de datos de alta precisión. Esta precisión oscila entre 1 y 3 centímetros.

## 8.2 Definición de LiDAR

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

El sensor LiDAR utiliza el mismo principio que el RADAR, solo que en lugar de usar ondas de radio utiliza pulsos de luz. El láser LiDAR envía una señal a la superficie terrestre desde un sensor aerotransportado; algunas de estas señales regresan de vuelta al transporte aéreo; el tiempo que tarda el rayo láser en llegar hasta la superficie terrestre y



regresar al transporte aéreo se emplea para determinar la distancia hasta los elementos de la superficie. También es posible determinar el ángulo de salida del láser y la localización y la altura del transporte aéreo. De este modo es posible calcular de forma muy precisa la altura de los árboles, los edificios y cualquier elemento sobre el terreno.

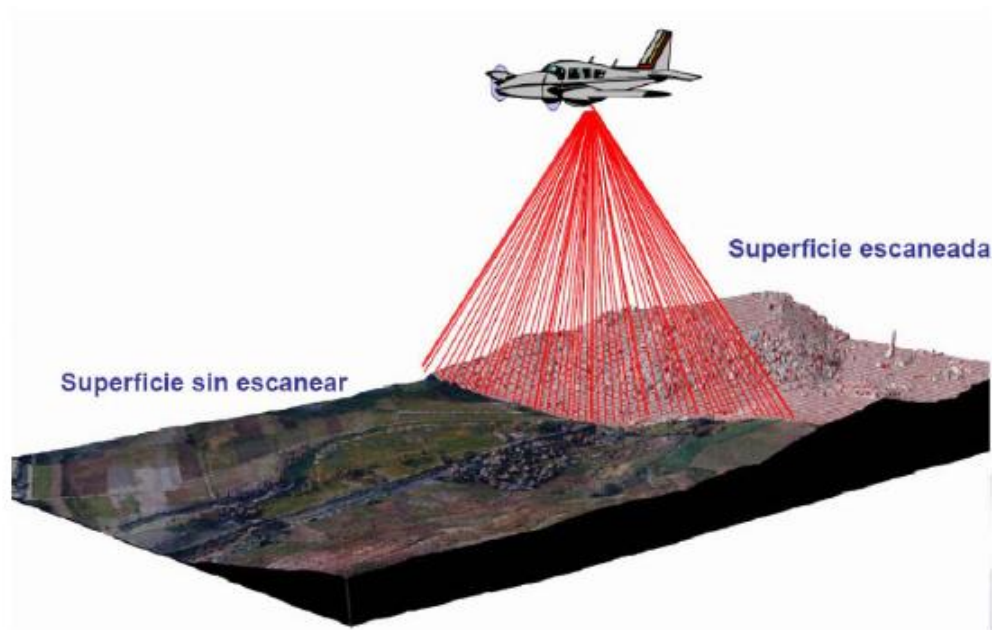


Imagen 1: Captura de datos LiDAR desde un avión

Fuente: SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011

Sus ventajas frente a otros procesos de captura de datos de elevación son: la precisión de centímetros, la mayor resolución espacial y la obtención de datos con estas características bajo la cubierta vegetal.

La precisión de los datos se debe a la capacidad del sensor para emitir pulsos de luz. El resultado es una densa red de puntos de elevación georreferenciados de elevada precisión, denominada “nube de puntos”.

Esta nube de puntos se puede usar para generar modelos tridimensionales de la superficie terrestre y sus objetos.

En cuanto a la pericia del sensor LiDAR para capturar información bajo la cubierta vegetal, es una de sus principales ventajas, ya que la mayoría de sensores utilizados en teledetección son incapaces de resolver este problema, a excepción de algunos radares que pueden atravesar la cubierta vegetal.

Debido a la elevada densidad de la nube de puntos generada por el sensor, incluso si un pequeño porcentaje de puntos alcanza el suelo, es suficiente para crear un Modelo Digital del Terreno con bastante precisión. En casos concretos, como la selva tropical, es posible crear Modelos Digitales del Terreno más precisos que las ortofotos o las ortoimágenes. Por esta razón es recomendable realizar un estudio de los datos que se necesitan, ya que en determinadas ocasiones será necesario planear el vuelo LiDAR en determinadas fechas del año.



Imagen 2: Esquema de retorno de pulsos láser. Fuente: SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011

## 8.3 Adquisición de los datos LiDAR

El proceso de adquisición de datos LiDAR es similar al usado en fotografía aérea. Es necesario realizar un estudio de planeamiento previo antes de iniciar el proceso de obtención de datos. Al igual que en la fotografía aérea, una comprensión detallada de las necesidades, los usos y las aplicaciones de los datos permite establecer los parámetros del vuelo.

### 8.3.1 Obtención de los datos LiDAR

A continuación se detallan los pasos que se deberían realizar para la correcta obtención de los datos:

- Planeamiento de vuelo: las claves son la precisión y el área de cobertura. Para ello hay que determinar la altura de vuelo, la velocidad del avión, el porcentaje de solape, las pasadas adicionales para asegurar la precisión y el ancho de cada pasada. La densidad de puntos (puntos por metro cuadrado) es fundamental, ya que depende del sensor y está relacionada con la precisión de los modelos. Por otra parte, hay que tener en cuenta los siguientes contratiempos que pueden ocasionar problemas en la ejecución del vuelo: cobertura nubosa, cuestiones de seguridad, condiciones del mar en zonas de costa, hora del día, condiciones climáticas.

- Ejecución del vuelo: conlleva la movilización de los recursos materiales (sensor y avión) y humanos (piloto, operador y personal de campo). En función de las necesidades, se pueden apoyar en trabajo de campo y estaciones GPS fijas para asegurar la precisión (GPS diferencial).
- Instalación de instrumentos y calibración de sistemas: es necesario comprobar la precisión y el buen funcionamiento del sensor LiDAR, así como su funcionamiento en vuelo.
- Misión de vuelo: cada pasada del avión se considera una misión, que conlleva el ajuste de los sensores LiDAR y AGPS.
- Verificación de campo: para comprobar la precisión, es recomendable capturar datos de campo sobre una o varias pasadas del avión mediante GPS; esto permite contrastar los resultados.
- Post-proceso: con la información del GPS diferencial y los datos inerciales del avión.



Imagen 3: Sensor LIDAR montado en un avión

Fuente: SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011

### 8.3.2 Manejo de los datos crudos

El proceso de captura consiste básicamente en la sincronización (en formato binario) de los datos con la información de navegación (x, y, z). Por esta razón es necesario procesar los datos que permitan generar productos de gran precisión.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Procesamiento de los datos GPS/INS, asegurando la cobertura completa, sin huecos, y la calidad de los datos.
- Eliminación de solapes: para evitar la duplicación de información y conseguir una densidad de puntos por metro cuadrado más homogénea.

- Depuración de la nube de puntos, clasificación y filtrado de las respuestas láser. En este punto se extrae la vegetación y todos los objetos sobre la superficie. Una vez extraídos, se calcula la altura de los puntos que quedan en esas zonas vacías mediante interpolación.

### **8.3.3 Generación de Modelos Digitales**

Una vez que se ha obtenido una nube de puntos clasificada, se pueden generar productos derivados tales como los MDE (modelo digital de elevación) y MDS (modelo digital de superficie). Se puede mejorar la precisión de estos modelos incluyendo líneas de ruptura, al igual que en los procesos de fotogrametría. La detección de estas líneas de ruptura supone un reto importante para la generación automática de cartografía y es un interesante campo de investigación para la realización de cartografía en zonas urbanas.

Las líneas de ruptura son entidades lineales con valores de elevación asociados a cada vértice. Estas líneas delimitan cambios fuertes de pendiente en el terreno: cauces, vías de comunicación, infraestructuras lineales. El uso de estas líneas de ruptura es un valor añadido para asegurar la calidad de los datos.

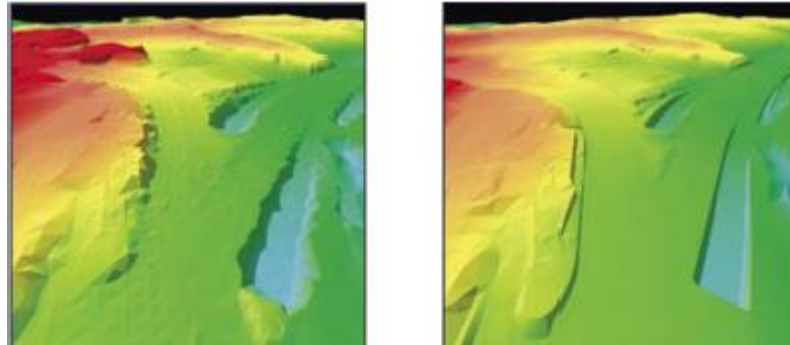


Imagen 4: MDT sin líneas de ruptura (izquierda) y con líneas de ruptura (derecha).

Fuente: SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011

## 8.4 Atributos de los datos LiDAR

Los datos de la nube de puntos incluyen información adicional, parte de la cual puede haberse generado durante la fase de pre-procesado (como por ejemplo la clasificación).

El uso de los atributos de los datos LiDAR requiere una comprensión de para qué sirven y dónde y cómo se encuentran almacenados. En ocasiones, los archivos incluyen una sección de cabecera, la cual recoge toda la información relacionada sistema de coordenadas, extensión, tamaño físico, etc. Sin embargo, en muchos casos esta sección de cabecera no existe.

Los datos del archivo están almacenados en formato binario, lo cual no es legible por parte de la mayoría de los editores de texto.



### 8.4.1 Clasificaciones

La clasificación de los datos LiDAR se lleva a cabo para almacenar cada punto en el grupo o clase que corresponda. Determinados programas producen un conjunto de puntos que representen solo los retornos que han rebotado en el suelo desnudo, almacenando el resto de puntos como un conjunto “sin clasificar”. Otros programas, que han desarrollado mejores algoritmos, son capaces de clasificar todos los puntos según grupos establecidos (vegetación alta, media y baja, edificios, etc).

Cuando se crea el MDT es posible eliminar todos los puntos sobrantes y realizar una representación lo más fidedigna posible de la superficie terrestre. Este ejemplo para crear un MDT es el caso más simple de clasificación; sin embargo, la clasificación de entidades concretas requiere más tiempo para fijar el rango de retornos necesario.

Por ejemplo, cada vez son más las aplicaciones orientadas a diferenciar entre estructuras artificiales y vegetación, y dentro de esta, entre vegetación arbórea y arbustiva. A partir de estas clasificaciones es posible realizar MDT's orientados a representar infraestructuras urbanas o modelos de vegetación. Es en el ámbito de este tipo de aplicaciones forestales donde mayor desarrollo existe, por ejemplo, para determinar las alturas medias y máximas o para calcular la biomasa de un área.



Los datos LiDAR pueden contener una o varias clasificaciones. Sin embargo, los datos en bruto se agrupan en una sola clase que recoge todas las respuestas de cada disparo láser. Las clasificaciones se crean durante el proceso de filtrado de datos; consiste en agrupar un conjunto de puntos que representen unas respuestas láser concretas.

Generalmente hay un mínimo de dos clasificaciones: suelo y cubierta vegetal, aunque también se incluyen los puntos de ruptura, los edificios, las líneas del tendido eléctrico. Los puntos restantes se agrupan formando un grupo sin clasificar (pueden ser pájaros u otros objetos en suspensión).

De este modo, a la hora de crear un MDT, es posible eliminar esos puntos y crear una representación lo más fidedigna posible de la superficie terrestre.

Los valores más importantes son el suelo, el agua y los datos sin clasificar. El agua es muy importante en zonas de costa, ya que se trata de una superficie que se puede confundir con el suelo en procesos automatizados. La clasificación más completa es la establecida por la Sociedad Americana de Fotogrametría y Percepción Remota/Teledetección (ASPRS), versión 1.4:

<b>Classification Value</b>	<b>Meaning</b>
0	Created, never classified
1	Unclassified <sup>3</sup>
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Reserved
9	Water
10	Rail
11	Road Surface
12	Reserved
13	Wire – Guard (Shield)
14	Wire – Conductor (Phase)
15	Transmission Tower
16	Wire-structure Connector (e.g. Insulator)
17	Bridge Deck
18	High Noise
19-63	Reserved
64-255	User definable

Imagen 5: Clasificación de los datos LiDAR  
Fuente: ASPRS

El uso de las clasificaciones está en crecimiento para incluir diferenciaciones entre vegetación y estructuras artificiales, así como entre alturas de vegetación y diferencias entre estructuras.

#### 8.4.2 Retornos de los pulsos láser

La capacidad de diferenciar múltiples retornos de los pulsos láser es la principal ventaja de la tecnología LiDAR. Anteriormente estos sistemas solo daban información acerca del primer y el último retorno. El número de retornos y su orden proporciona importante información para posteriores clasificaciones.

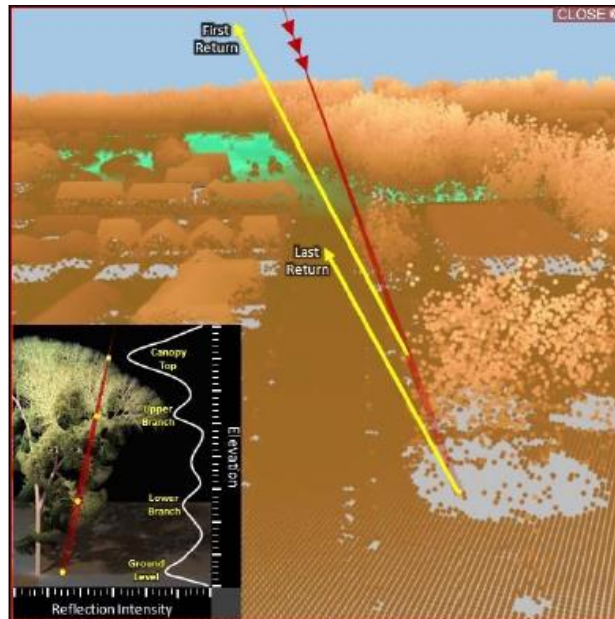


Imagen 6: Esquema de retornos de los pulsos láser  
Fuente: SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011

## 8.5 Formatos y Atributos

### 8.5.1 Formato “.las”

Los archivos “.las” contienen los datos registrados de los puntos LiDAR. Estos datos se almacenan en este formato que combina la información de posicionamiento (GPS), los datos inerciales del avión (INS/IMU) y el rango de datos de los pulsos láser que permite obtener los datos x, y, z de cada punto. El objetivo del uso de este formato de datos es proporcionar un formato abierto que permita manejar los datos LiDAR en cualquier equipo y con programas específicos.

### **Definición del formato/archivo “.las”**

El formato o archivo “.las” contiene datos binarios que consisten en archivo cabecera, registros de longitud variable y datos de puntos. Algunos archivos “.las” contienen datos de la forma de la onda.

El archivo cabecera contiene los datos genéricos como el número de puntos y el área de cobertura seguidos de los registros de amplitud variable. Estos últimos contienen diferentes datos como la proyección, los metadatos, la forma de la onda, etc.

```

Statistics
-----
Horizontal Mean:    2.81
Biased Horizontal Mean: 2.75
Biased Point Density : 3.31
Source ID Count : 4
LAS Header
-----
GUID:              00000000-0000-0000-0000-000000000000
LAS Version:       1.0
System ID:         <empty>
Generating Software: TerraScan
Flight Date Julian: 0
Year:              0

Header Size:       227
Point Data Offset: 709
VLR Count:         5

Point Data Format:  Format 1
Point Data Record Length: 28
Number of Point Records: 3133353
Points By Return
  Return 1: 2435079
  Return 2: 582099
  Return 3: 109295
  Return 4: 6880
  Return 5: 0

X,Y,Z Scale Factors: 0.0100, 0.0100, 0.0010
X,Y,Z Offsets:       0.00, 0.00, 0.00
Min, Max X:          2259257.54, 2264183.12
Min, Max Y:          351365.95, 356291.85
  
```

Imagen 7: Ejemplo de archivo de cabecera  
Fuente: SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011

### 8.5.2 Atributos

Existen seis formatos de registro de datos de los puntos, los cuales se identifican de la siguiente manera: 0, 1, 2, 3, 4 y 5.

A continuación se detalla una tabla comparativa de los diferentes atributos para los seis formatos:

ATRIBUTOS/FORMATO	0	1	2	3	4	5
X	X	X	X	X	X	X
Y	X	X	X	X	X	X
Z	X	X	X	X	X	X
INTENSIDAD	X	X	X	X	X	X
RETORNO	X	X	X	X	X	X
Nº DE RETORNOS	X	X	X	X	X	X
DIRECCIÓN DE ESCANEADO	X	X	X	X	X	X
LÍNEA DE VUELO	X	X	X	X	X	X
CLASIFICACIÓN	X	X	X	X	X	X
ÁNGULO DE ESCANEADO	X	X	X	X	X	X
USUARIO	X	X	X	X	X	X
IDENTIFICADOR	X	X	X	X	X	X
GPS	-	X	X	-	X	X
ROJO	-	-	X	-	-	X
VERDE	-	-	X	-	-	X
AZUL	-	-	X	-	-	X
DESCRIPCIÓN DE ONDA	-	-	-	-	X	X
DATOS DE ONDA	-	-	-	-	X	X
TAMAÑO DE ONDA	-	-	-	-	X	X
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE RETORNO	-	-	-	-	X	X

Imagen 8: Comparativa de atributos según el formato  
Fuente: SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011

A continuación se presenta la descripción de los atributos comunes de los datos LiDAR almacenados en archivos “.las”:

- **X:** posición en longitud.
- **Y:** posición en latitud.
- **Z:** elevación.
- **Intensidad:** valor que representa la magnitud del retorno del pulso.
- **Retorno:** valor del retorno que ha devuelto ese punto.
- **Número de retornos:** número total de retornos para un pulso determinado.
- **Clasificación:** valor que recoge el tipo de punto según el retorno del pulso.
- **Ángulo de escaneado:** valor del ángulo en el que fue disparado el pulso láser desde el avión.
- **Identificador:** valor único dado a cada uno de los puntos del conjunto de datos.
- **Datos de usuario:** campo reservado para el usuario.
- **Dirección de escaneado:** dirección del espejo del escáner en el momento de realizar el disparo del pulso láser.
- **Dirección de vuelo:** marca el cambio de dirección de vuelo. Aparece con valor 1 en la última línea de puntos escaneados antes de cambiar la dirección de vuelo.
- **Información GPS:** datos GPS del punto en el momento de capturarse.

## 9. ANTECEDENTES

---

### 9.1 Ley Forestal Nacional

En modo de resumen, mencionaremos algunos aspectos relevantes de la Ley N° 15.939 (*LEY FORESTAL - FONDO FORESTAL - RECURSOS NATURALES*) la cual fue promulgada el 28 de diciembre de 1987 y reglamentada por el Decreto N° 452/988 de 06/07/1988. Tiene como cometido regular lo concerniente a los bosques, parques y terrenos forestales existentes dentro del territorio nacional como establece la misma en su artículo 3ro y encomienda estas tareas a La Dirección General Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.

Se puede decir que esta ley trata dos grandes aspectos en lo que refiere al tema forestal. Por un lado el fomento y regulación de la forestación destinada a crear un recurso con fines productivos, y por otro la conservación de los bosques nativos.

Es de importancia para este trabajo referirse al “Título IV – Protección de los bosques” de esta Ley que refiere a la protección de bosques. Se establece que queda prohibida la tala y cualquier operación que atente contra la supervivencia del monte indígena, con excepción de dos casos: cuando el producto de la explotación se destine al uso doméstico y alambrado del establecimiento rural al que pertenece y cuando medie

autorización de la Dirección General Forestal basada en un informe técnico donde se detallen tanto las causas que justifiquen la tala como los planes de explotación a efectuarse en cada caso.

Respecto a las excepciones concedidas por la ley para la tala de árboles cabe destacar que el decreto reglamentario de esta Ley, decreto N° 452/988 especifica que se consideran usos domésticos a fines de dicha excepción.

## **9.2 Trabajos e investigaciones**

A continuación se presentan algunos trabajos e investigaciones que han sido publicadas, las cuales sirven de base en este trabajo a modo de antecedentes y así poder conocer diferentes resultados, metodologías empleadas, equipamiento para la toma de datos, etc.

Cabe destacar que si bien existen varios trabajos, nacionales e internacionales, de cómo detectar las especies invasoras en bosques nativos, ningún estudio (en lo que nos concierne) ha mostrado resultados basándose en datos LiDAR como fuente principal en toma de datos.

Los siguientes trabajos referenciados son de importancia mencionar y tener en cuenta ya que se consideran una buena guía y base para llevar adelante este trabajo y poder cumplir los objetivos planteados o algunos



de ellos. Estos trabajos, si bien no tienen como objetivo la detección de especies exóticas invasoras, se centran en evaluar y analizar diferentes variables, como los son la altura, estructura vertical del dosel, generar cartografía, etc, de los bosques nativos a partir de información LiDAR, lo cual es en parte lo que se pretende hacer en este trabajo para lograr el objetivo general.

### ***9.2.1 Evaluación de la estructura horizontal y vertical del bosque nativo usando LiDAR.***

El trabajo en referencia fue realizado en la Universidad de Chile con el objetivo de evaluar la potencialidad de la tecnología LiDAR en la determinación de estructuras de bosque en términos comparativos a los inventarios tradicionales. Se estudian diversas características de los bosques dentro de las cuales se incluyen las alturas por lo que resulta de interés para nuestro estudio particular.

Este trabajo fue enmarcado en una zona de estudio ubicada en la precordillera de Curicó, VII Región de Chile, sobre una meseta ubicada a 1000 m.s.n.m.

Los datos LiDAR e imagen digital aérea (VIS-IR) fueron adquiridos a fines de Febrero del año 2011 por la empresa Digimapas Chile Ltd. ([www.digimapas.cl](http://www.digimapas.cl)), usando un set Harrier 56/G4 Dual System montado sobre un Piper PA-24 Comanche. El vuelo fue conducido a una altura

promedio sobre el nivel del suelo de 580m sin error de GPS, y a una velocidad entre los 180 a 210 km/h, entre las 14:05 y las 15:23 hs y con una densidad de 4.64 puntos por m<sup>2</sup> (p/m<sup>2</sup>). Las características más destacables de sensor son que posee una frecuencia de pulso 100 kHz, el ángulo de divergencia de 0.5 mrad, la frecuencia de escaneo 100 Hz, la visión de campo 22.5 ° y la longitud de onda del láser 1550 nm.

Para el procesamiento de los datos, en primer lugar, se convirtieron los datos ASCII a formato “.las” y luego se aplicó el algoritmo de curvatura multiescala (MCC-LiDAR) para clasificar los puntos que corresponden a terreno. Se utilizaron los valores de 1,5 y 0,3 como parámetros de escala y el umbral, respectivamente. Una vez que los puntos de terreno fueron clasificados se realizó una interpolación sobre los datos para obtener los modelos digitales de terreno (MDT) utilizando solo los puntos clasificados previamente como terreno, y un modelo digital de superficies (DSM) utilizando todos los puntos restantes o no-terreno.

Posteriormente, se obtuvo la diferencia entre ambos modelos. Los datos para obtener un modelo normalizado de objetos digitales que en el caso de ambientes forestales se asume como un modelo digital de copas (DCM). Todos los modelos digitales obtenidos tenían una resolución espacial de 1 metro. Paralelamente se trabajó directamente sobre la nube de puntos normalizada (a cada punto se restó la altura de terreno).

Para ello se desarrolló un algoritmo que permite contar el número de puntos LiDAR al interior de cubos en el espacio 3D. Estos datos son complementarios al DCM pues dan cuenta de la densidad de puntos bajo el dosel arbóreo dominante y no solo de sus máximos.

La estructura vertical fue evaluada a través de dos variables de estado, la altura dominante de los árboles ( $A$ ) y la diversidad vertical a través del Índice de Shannon ( $S$ ). El valor estimado de alturas dominantes ( $A_{est}$ ), en cada sub-parcela, se estimó utilizando los valores máximos de las pilas de cubos previamente clasificado como bosque. Los valores observados ( $A_{obs}$ ) se obtuvieron de los datos de terreno. Para dar cuenta de la diversidad estructural se utilizó el índice de diversidad de Shannon.

El valor estimado ( $S_{est}$ ) se obtuvo procesando todas las pilas de cubos clasificadas como arbóreas y considerando cada cubo como una “especie” distinta y cada cuenta de puntos de la NDP como “individuos”. El valor asignado a cada sub-parcela fue el promedio de todas las pilas consideradas. El valor observado ( $S_{obs}$ ) se obtuvo clasificando la frecuencia de alturas totales en la sub-parcela en clases de 5 metros de altura a partir de las cuales se calculó el Índice de Shannon, asumiendo que cada clase corresponde a una “especie”.

En cuanto a los resultados obtenidos en este trabajo ellos concluyeron que la altura dominante caracterizada como un atributo dendrométrico (el de la altura del árbol mayor) resulta ser un valor puntual y por lo tanto sujeto a los errores propios de la identificación del individuo. Los resultados de la correlación entre  $A_{obs}$  y  $A_{est}$  presentan un coeficiente de determinación de 0,42 %, con un coeficiente de variación de 22%.

Las diferencias entre  $A_{obs}$  y  $A_{est}$  tienen una tendencia a aumentar a medida que la altura máxima es creciente. Este hecho se puede explicar en parte por la estricta clasificación realizada sobre la posición y clasificación espacial de los árboles en las subparcelas, situación que es altamente dependiente del error del GPS y también por errores propios de la medición de alturas de terreno. De la observación de la gráfica de diferencias entre  $A_{obs}$  y  $A_{est}$  se advierte que los sesgos pueden ser fácilmente corregidos con un modelo lineal.

También se advierten algunos casos donde claramente existen discrepancias en la identificación de individuo, situación que de ser mejorada subiría notablemente la correlación de las estimaciones.

### ***9.2.2 Obtención de variables forestales a partir de datos LiDAR.***

Este trabajo presenta una revisión de métodos empleados para la obtención de variables forestales a partir de datos LiDAR entre las cuales se encuentran la altura y la estructura vertical del dosel.

Respecto a la primera establece que los métodos desarrollados para estimar la altura de la vegetación a partir de datos LiDAR puede agruparse en dos grandes categorías: a) métodos directos y b) métodos indirectos.

En el primer caso la obtención de la altura de la vegetación se hace a partir de la resta del MDE con respecto al MDS obteniendo lo que generalmente se llama modelo digital de la altura del dosel (MDAD). Por su parte, los métodos indirectos estiman la altura de la vegetación a partir del establecimiento de modelos estadísticos que relacionan los datos LiDAR (variables independientes del modelo) con la altura de la vegetación (variable dependiente). Estos últimos requieren de gran trabajo de campo para obtener un número suficiente de datos que permitan calibrar y validar los modelos. En ambos casos se aplica un umbral para garantizar que los puntos o píxeles empleados corresponden al dosel y no a suelo, piedras o vegetación baja. Este umbral suele establecerse en 2 m.

Este trabajo se centra en la primera categoría por su sencillez para estimar variables para grandes áreas debido al gran volumen de datos que se deben manejar.

Los datos empleados corresponden a los datos de muestra con una densidad de 5 puntos por m<sup>2</sup>. Los modelos se obtienen mediante interpolación a partir de la selección de puntos dentro de una cuadrícula de tamaño especificado por el usuario. Estos puntos pueden representar puntos clasificados como retornos producidos sobre el suelo desnudo (MDE) o bien a partir del punto más alto dentro de una celda (MDS). Generando ambos modelos y restándolos se obtiene el MDAD.

En este ejemplo los valores para el MDAD oscilan entre -0,15 y 13,10 m. Estos valores negativos pueden deberse a los efectos de la interpolación en la generación de los modelos digitales o errores en la clasificación de los puntos. En este caso, los valores negativos aparecieron principalmente en zonas de suelo desnudo (camino) y pastizales, con valores de -0,15 que están dentro de la precisión nominal de los datos de acuerdo a la información proporcionada por la empresa adjudicataria del vuelo. Para filtrar estos valores negativos se aplica una máscara y se reclasifican a cero.

La capacidad de los sistemas LiDAR para medir con precisión la altura de la vegetación depende de varios factores como son el tamaño y la

reflectividad del objeto sobre el que incide el pulso, la densidad de los datos, el diámetro del pulso, o el método de detección de cada retorno. Además de estos factores relacionados con el sistema, la precisión en la estimación de las alturas depende de otros factores como las especies, la forma de las copas, así como los errores en la generación del MDS y el MDE ya que los errores se propagarán directamente al MDAD. Así, por ejemplo, Leckie y otros, (2003) encontraron errores de hasta 0,5 m debidos al micro-relieve y vegetación baja. Por tanto, aunque los errores obtenidos con modelos generados a partir de datos de alta densidad serán, por norma general, menores de 0,3 m (Reutebuch et al., 2003), es importante considerar la contribución de esta fuente de error en los errores totales a la hora de determinar la altura del dosel.

En este trabajo se obtuvo una altura media pasto 0.11m, altura media matorral 1.07m y altura media arbolado 3.50 m teniendo en cuenta que se consideró pasto aquello con alturas entre 0 - 0,5 m; matorral entre 0,5 - 2,0 m y arbolado > 2,0 m.

En la mayoría de los trabajos, se ha manifestado una clara tendencia a infraestimar la altura de la vegetación lo que normalmente se explica por la baja probabilidad de que el pulso emitido por el láser incida sobre la copa del árbol, especialmente cuando la densidad de puntos de los datos es baja.

La segunda variable de interés refiere a la estructura vertical la cual representa la distribución de alturas dentro de una tesela o rodal. El análisis de la varianza de la altura del arbolado se ha utilizado para detectar las diferencias entre bosques con una estructura simple (una sola capa de dosel) y una estructura más compleja (varias capas de dosel). Zimble et al., (2003) emplearon la varianza de las alturas de árboles individuales delineados a partir de datos LIDAR para determinar distintas clases estructurales en una zona de Idaho (USA). Las dos clases se establecieron a partir de observaciones en campo y se estableció un umbral de 1,54 m, de manera que aquellas parcelas con una varianza inferior a este valor se consideraron como parcelas de estructura simple y aquellas con un valor superior como parcelas de estructura compleja.

Además de la varianza o la desviación estándar también se ha propuesto utilizar el coeficiente de variación (cociente entre la desviación estándar y la media) como variable para determinar la estructura vertical de la vegetación.

Considerando la zona como una tesela, al igual que cuando se estimó la altura media, la desviación estándar de la misma sería de 1,34 y la varianza sería de 1,79. Considerando el umbral adoptado por Zimble et al. (2003) (varianza = 1,54) podría considerarse como una tesela de estructura compleja. Sin embargo, se debe tener en cuenta que estos



umbrales deberán establecerse en función de las características de la zona de estudio, a partir de las alturas de la vegetación medidas en campo.

*Maier et al., (2008)* también proponen determinar la estratificación de un bosque a partir del MDAD en función del porcentaje de cobertura del dosel a distintos intervalos de altura calculado en la superficie total. Ellos consideran que un bosque presenta un único estrato si una de las capas presenta un porcentaje de cobertura > 60% y ningún otro tiene un porcentaje de cobertura > 35%; tendrá dos estratos cuando hay dos estratos con un porcentaje de cobertura > 30% o uno con un porcentaje de cobertura > 50% y otro con un porcentaje de cobertura > 20%; y tendrá múltiples estratos cuando hay 3 estratos con un porcentaje de cobertura > 20%.

Estrato	Intervalo de altura (m)	Nº píxeles	%
1	2 - 4	119808	73,6
2	4 - 6	33677	20,7
3	6 - 8	6857	4,2
4	8 - 10	1871	1,1
5	> 10	491	0,3

Como se muestra, los estratos 1 y 2 presentan un porcentaje de cobertura superior al 50% y el 20% respectivamente, por lo que puede considerarse que tenemos dos estratos.

En cuanto al análisis de datos consideraron que debe tenerse en cuenta que la determinación de la precisión de la determinación de la estructura vertical del dosel requiere disponer de datos de campo los cuales pueden basarse en medidas hechas en campo o a partir de una estimación visual de cada parcela, por lo que es posible que la determinación de una estructura simple (una sola capa) se deba a una limitada penetración de los datos LiDAR en el dosel, lo que puede deberse a una densidad de puntos baja o bien un dosel muy denso que impide la penetración de los rayos láser emitidos por el sensor.

También debe tenerse en cuenta a la hora de analizar los distintos estratos las características de distribución de los retornos. La aplicación de umbrales puede indicar una determinada estructura, por ejemplo de múltiples capas, que en realidad corresponden a un único estrato. Así, los estratos 1 y 2 presentaban un porcentaje de cobertura superior al 50% y el 20% respectivamente, indicando la presencia de dos estratos si sólo se consideran los valores de los umbrales aplicados. Sin embargo, al observar el histograma de alturas o el porcentaje de cobertura de cada intervalo, se apreciaba una clara continuidad entre los estratos.

### ***9.2.3 Cartografía de Vegetación en la Comunidad de Madrid utilizando información LiDAR.***

A continuación se hace referencia a una exposición realizada en el 6to Congreso Forestal Español, que fue llevado a cabo entre los días 10 y 14 de junio del año 2013, en la ciudad de Vitoria-Gasteiz, España. Realizado por profesionales de la empresa Agresta S. Coop. y de la Dirección General del Medio Ambiente de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid.

En él se describe un trabajo realizado para la superficie forestal de la Comunidad de Madrid a partir de información LiDAR del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea). En la superficie de estudio (442.659,18 hás) se ha generado información continua de estructura de la vegetación (alturas y coberturas de arbolado y matorral) en píxeles de 25 metros de lado. Esta información permitirá enriquecer y mejorar sustancialmente la cartografía forestal, en particular de la Comunidad de Madrid y es un gran antecedente para la realización de inventarios forestales LiDAR a escala regionales. Trabajos como este también ayudarán a reducir considerablemente los costos de inventario en la planificación y gestión de las masas forestales.

El presente trabajo tuvo dos objetivos principales, en primer lugar, extraer información útil de la estructura de la vegetación para todo el terreno

forestal de la Comunidad de Madrid a partir del procesado de la información del vuelo LiDAR del PNOA.

En segundo lugar el trabajo pretende demostrar el valor de esta información, aplicándola a un caso real concreto, como es la actualización del Mapa Forestal de la Comunidad de Madrid del año 2006, partiendo de los resultados de cobertura de la vegetación obtenidos a partir del procesado de la información LiDAR del PNOA.

Los archivos “.las” sobre los que se trabajó son de 2x2 Km<sup>2</sup> que almacenan los datos LiDAR capturados y clasificados por la empresa Stereocarto de agosto a diciembre de 2010 con una densidad media teórica de 0,5 puntos/m<sup>2</sup>.

El primer paso del trabajo ha sido la revisión de los archivos “.las” para verificar que están completos y clasificados. La clasificación de la nube de puntos es un paso fundamental ya que permite diferenciar los retornos de suelo de los de vegetación, edificios u otras infraestructuras y seleccionar así para el análisis la información correspondiente a la vegetación. Durante la revisión de los archivos “.las” se ha detectado que hay errores de clasificación de los puntos ya que aparecen retornos correspondientes a infraestructuras antrópicas clasificados como vegetación, lo que obligó a elaborar una depuración de los resultados obtenidos.

Una vez validados los archivos “.las” el primer paso del procesado de los mismos es la obtención de Modelos Digitales del Terreno (en adelante MDT) utilizando el software FUSION. Se ha generado un MDT con paso de malla de 2x2 m<sup>2</sup> para cada uno de los archivos “.las” entregados, seleccionados para ello únicamente los puntos clasificados como suelo. Los MDT generados se han convertido a formato ASCII compatible con la mayor parte de los SIG comerciales.

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

- Arbolado. Toda aquella vegetación que pasa de 2m
- Matorral. Toda aquella vegetación que está entre los 0,3m y los 2m

Para el cálculo de los principales estadísticos del LiDAR de los retornos de vegetación arbórea en celdas cuadradas de 25 metros de lado se han utilizado los desarrollos de software propio de Agresta trabajando sobre la plataforma de FUSION.

Con el fin de eliminar posibles errores derivados de una mala clasificación de la vegetación debida a la presencia de elementos antrópicos, los cálculos se han hecho con los retornos que van de los 2 m a los 50 m para el caso del arbolado. La altura máxima para los retornos de arbolado

se ha seleccionado redondeando por exceso la altura máxima de los árboles más altos de la Comunidad de Madrid. En concreto, se han localizado ejemplares del género *Platanus Sp* que en los sotos de Aranjuez llegan a superar los 40 m según se ha contrastado a partir de los propios datos LiDAR.

Con objeto de manejar la información con mayor agilidad se han creado capas ráster de toda la Comunidad de Madrid para los dos estadísticos de mayor significación forestal directa: Fracción de Cobertura Cubierta (porcentaje de primeros retornos que no llegan al suelo) y una aproximación a la altura dominante (percentil 95 de alturas) tanto para el matorral como para el arbolado.

A partir de los datos LiDAR del PNOA se ha generado una cartografía de alta resolución (25 metros de lado de pixel) de estructura de la vegetación en toda la superficie forestal de la Comunidad de Madrid. En el presente trabajo se ha aplicado esta cartografía para la actualización del Mapa Forestal de manera que se pueda analizar la evolución de la cubierta de las masas arboladas en la Comunidad de Madrid entre los años 2006 y 2010.

Tabla 2. Distribución de la Cubierto Forestal de Madrid en el Año 2006 según el Mapa Forestal.

Cubierto	Superficie (ha)
Bosque	105.326,57
Monte arbolado	118.108,87
Monte desarbolado	210.663,88
Corrección Mapa Forestal	8.559,86
<b>Total forestal</b>	<b>442.659,18</b>

**Mapa Forestal 2006**

CUBIERTO

- Bosque
- Monte arbolado
- Monte desarbolado
- Corrección MF

Tabla 3. Distribución de la Cubierto Forestal de Madrid en el Año 2010 actualizada con datos LiDAR.

Cubierto	Superficie (ha)
Bosque	133.664,13
Monte arbolado	157.104,28
Monte desarbolado	151.890,77
<b>Total forestal</b>	<b>442.659,18</b>

**Actualización Mapa Forestal 2010**

- bosque
- monte arbolado
- monte desarbolado

Autores: Sociedad Española de Ciencias Forestales

## 10. METODOLOGÍA

---

### 10.1 Estudio de las especies invasoras en el bosque nativo

#### Introducción.-

Es de interés de la Dirección General Forestal del MGAP el control de las especies invasoras, lo cual es un punto clave para el manejo sostenible de los bosques naturales de que son de gran importancia para el medio ambiente.

Según *Nebel y Porcile (2006)* se define como especies invasoras a "plantas, animales u otros organismos introducidos por el hombre en áreas fuera de su distribución natural".

Estas especies se reproducen y dispersan, provocando un impacto negativo en diferentes ecosistemas y especies locales o nativas que provocan daño ambiental, económico y social.

El bosque nativo uruguayo está amenazado y afectado principalmente por dos especies arbóreas invasoras: el Ligustro (*Ligustrum lucidum*) y la Acacia Negra o Espina de Cristo (*Gleditsia triacanthos*). También hay especies como el olmo europeo (*Ulmus procera*), morera (*Morus alba*), fresno rojo americano (*Fraxinus pennsylvanica*) entre otros que afectan a los ecosistemas.

Todas ellas fueron introducidas al país en el siglo XX por diversos motivos siendo de los más destacables para este trabajo la introducción de especies invasoras a los bosques nativos con el fin de repoblarlos luego de la tala del bosque para la obtención de madera para combustible.



## Reseña.-

A modo de introducción o reseña, hacemos mención a un artículo publicado por el portal La Diaria, llamado “El bosque nativo bajo la lupa”, del 9 de diciembre de 2017. Dicho artículo hace referencia a un seminario dictado por el Doctor en Ecología, Alejandro Brazeiro, llamado “Recientes avances en investigación para la gestión y conservación del bosque nativo de Uruguay”:

*Los bosques nativos ocupan entre 750.000 y 850.000 hectáreas, lo que vendría a ser entre 4,3% y 5,2% de la superficie de nuestro territorio. Los bosques ribereños son los más conocidos por la gente, pero también tenemos bosques serranos (en el sur y sureste), bosques parque, bosques parque de algarrobos (restringidos al oeste) y palmares (en la planicie de la Laguna Merín y en el litoral oeste). Pero en su disertación Brazeiro advierte: “hay muchos bosques que no están mapeados oficialmente”, al tiempo que denuncia que “no tenemos una clasificación sistemática de los tipos de bosque acorde a los estándares internacionales”. De hecho, le digo que uno creció con el concepto de “monte nativo” y pensaba que bosques eran los de Europa o Canadá. “En realidad, es un tema cultural”, contesta. Y agrega: “En ecología lo que tenemos acá se llama bosque. Si se quiere, llamarlos montes nativos es usar el nombre vulgar, de entre casa”. En estos tiempos que corren sabemos que el lenguaje es una herramienta poderosa para descalificar, y le pregunto si ese diminutivo, si ese referirse al bosque nativo como*

*monte no es una especie de ninguneo. Asiente y va más allá: “Ese no apreciar el bosque que tenemos incluso ya estaba en la cabeza de los agrónomos cuando trajeron muchas de las especies exóticas invasoras para mejorar la calidad del monte nativo con árboles europeos que crecían más alto y más derechitos, que hoy son un gran problema, y las introdujeron agrónomos con esa cabeza”.*

*Los escasos bosques nativos están hoy seriamente amenazados, ya sea por la tala raza debido a la producción agrícola, ganadera y forestal, a las represas y a la urbanización, por la invasión biológica de especies exóticas (entre ellas, tenemos la amenaza seria del ligustro y la gleditsia), por la tala selectiva para leña y por el sobrepastoreo.*

#### **Potenciales especies a detectar.-**

De acuerdo nuestros objetivos y en base a lo publicado por el Comité Nacional de Especies Invasoras Exóticas, lo publicado en la Base de Datos InBUy (2011) de la Facultad de Ciencias, y según Nebel y Porcile (2006); se identifican ciertas especies exótica invasoras, problemáticas para el bosque nativo, las cuales superan la altura media del bosque nativo, que podrían ser las detectadas en los modelos y análisis del presente trabajo. Estas son:

### ***Espina de Cristo (Gleditsia Triacanthos).***-

*Gleditsia triacanthos* es una especie leñosa perteneciente a la familia de las fabáceas, originaria de Norte América. Es polígamo dioica o monoica; su fruto es una legumbre lineal-comprimida; presenta semillas elipsoidales u ovales inmersas en el mesocarpio algo pulposo y dulce, muy duras y lisas. Es caducifolia; florece en la primavera del hemisferio sur; la fructificación se inicia a comienzos del verano (diciembre) y se prolonga hasta entrado el otoño (mayo).

Se la encuentra comúnmente en suelos húmedos y fértiles cerca de arroyos y lagos pero habita una amplia variedad de ambientes entre los que destacan sitios bien drenados, laderas rocosas, campos abandonados, bordes de alambrados y planicies de inundación. Es tolerante a las inundaciones, a la sequía e incluso a las condiciones de salinidad. En Uruguay el bosque ribereño parece constituirse en su ambiente preferencial. Presenta una alta producción de frutos y semillas, gran capacidad de germinación, reproducción clonal y rápido crecimiento. Debido a estas características presenta un alto potencial de invasividad. Actualmente se la considera como especie invasora en Argentina y Uruguay. En nuestro país fue categorizada como una especie invasora de amplia distribución e impacto adverso.

Las semillas son dispersadas por aves y mamíferos. El ganado vacuno también constituye un importante agente de dispersión facilitando además

la germinación mediante escarificación. En los ambientes riparios los frutos también pueden dispersarse por hidrocoria. Su reclutamiento estaría favorecido por niveles intermedios de cobertura del dosel habiendo sido definida como una especie poco tolerante a la sombra. En tal sentido los parches con mayor disponibilidad de luz parecen facilitar el desarrollo de plántulas y juveniles. La actividad ganadera fue reportada como agente facilitador del desarrollo de *G. triacanthos* en bosques ribereños de la Pampa Ondulada. Para comprender la relación entre la ganadería y el desarrollo de *G. triacanthos* debe analizarse en las condiciones ambientales de cada ecosistema. Por su parte se ha señalado que los efectos del fuego sobre su desarrollo presentan un patrón contexto dependiente.

Las hojas y los frutos de *G. triacanthos* constituyen interesantes alternativas forrajeras para rumiantes en el sistema silvopastoril; frente al consumo de los animales y podas intensas responde con una gran capacidad de rebrote. Sus flores son muy apreciadas por los apicultores. Sus semillas podrían ser potencialmente utilizadas como aditivos en la industria alimentaria. Su madera puede ser considerada como apta para usos de alto valor en las industrias de la construcción y del mueble.



Foto 1. (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo) Chauchas colgando de una rama. Chauchas maduras en el piso. Detalle del tronco con espinas.

Fotos: Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del Territorio, Facultad de Ciencias, UdelaR.

### Imagen 9: Gleditsia Triacanthos

Fuente: *Especies exóticas invasoras leñosas: experiencias de control*. Montevideo, noviembre 2015. ISBN: 978-9974-658-21-9



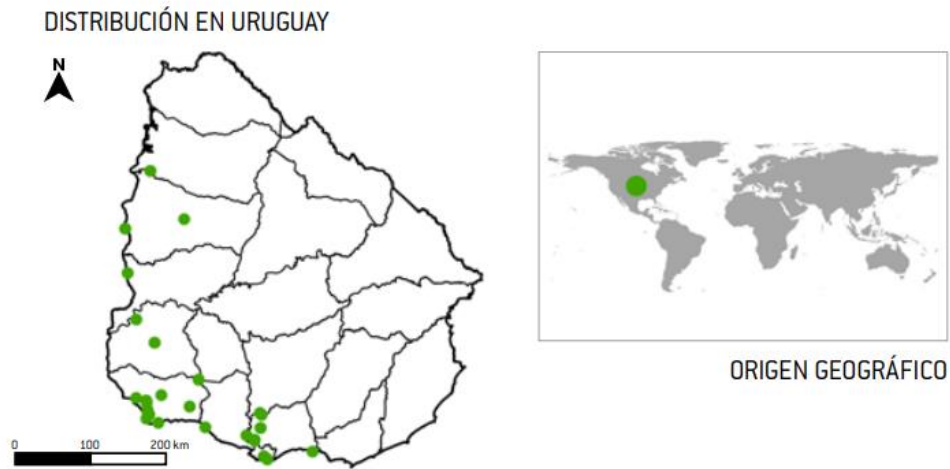


Imagen 10: Distribución de la especie / Fuente: <http://inbuy.fcien.edu.uy>

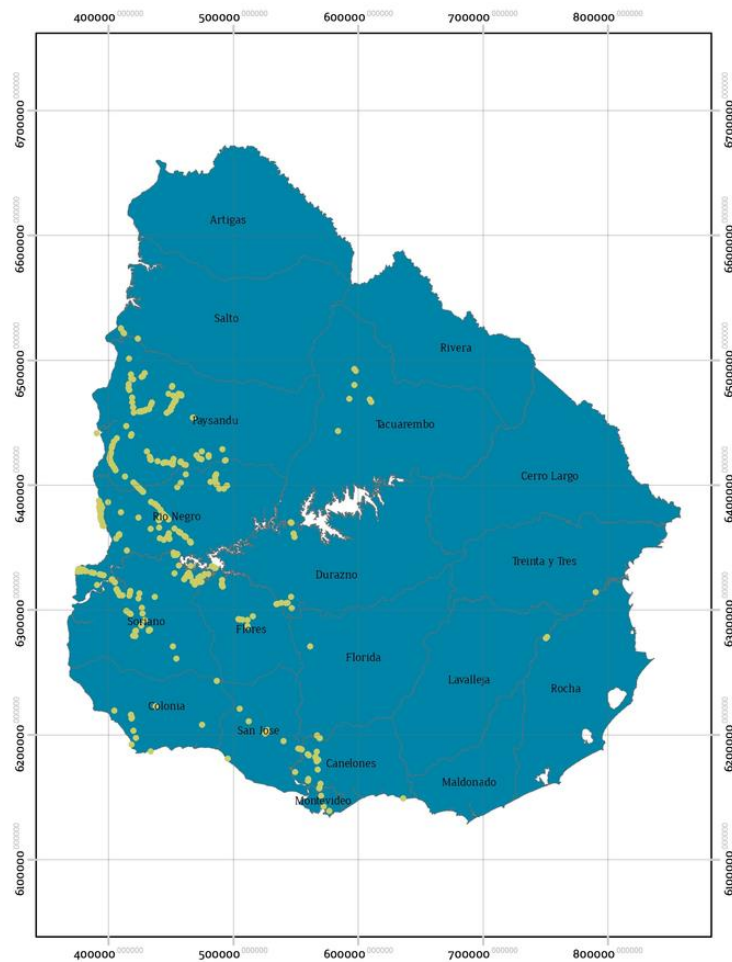


Imagen 11: Distribución de la especie / Fuente:  
[https://www.researchgate.net/publication/301496316\\_Modelos\\_de\\_distribucion\\_de\\_la\\_acacia\\_invasoras\\_Gleditsia\\_triacanthos\\_como\\_herramientas\\_para\\_su\\_manejo](https://www.researchgate.net/publication/301496316_Modelos_de_distribucion_de_la_acacia_invasoras_Gleditsia_triacanthos_como_herramientas_para_su_manejo)

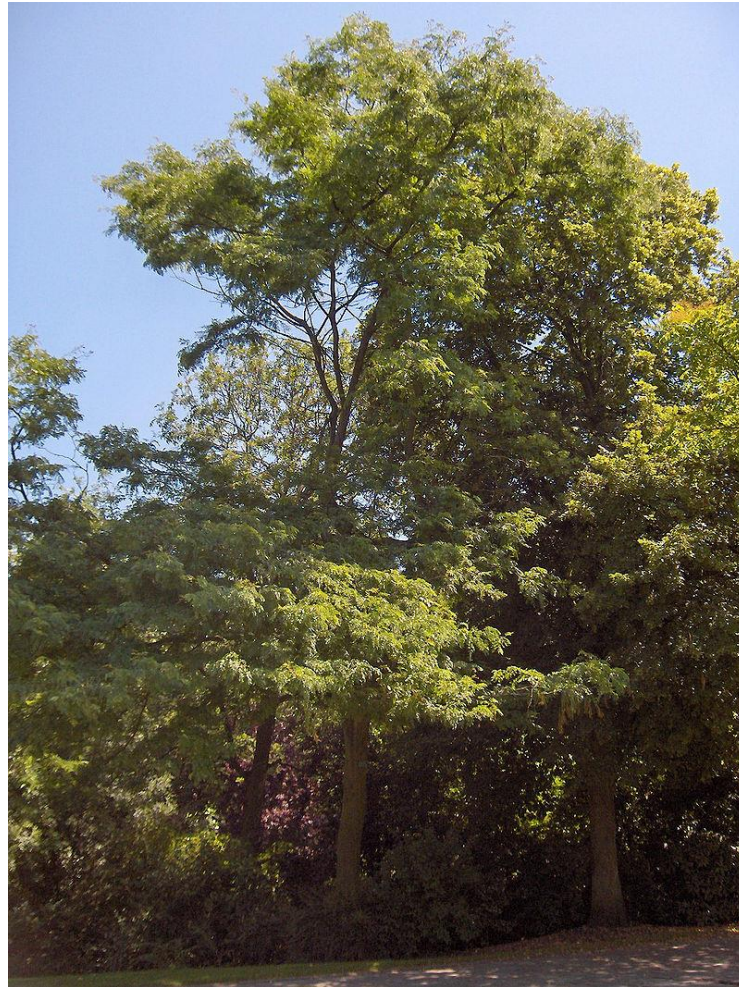


Imagen 12: Ejemplar adulto de Gleditsia Triacanthos / Fuente: Wikipedia

***Ligustro (Ligustrum lucidum).***-

Especie introducida en Uruguay a mediados del siglo XIX, originaria de Asia, fue muy utilizada para cercos vivos y como ornamental por ser muy rústica y adaptable a diversos ambientes y condiciones. Es una especie leñosa perteneciente a la Familia Oleaceae, que alcanza hasta 10 a 15 metros de altura, de copa globosa, follaje perenne verde brillante, corteza lisa, con hojas simples, opuestas, algo discoloras, ovado-acuminadas, de

5 a 15 cm de largo por 6 a 7 cm de ancho, glabras, brillantes, base cuneada, pecíolo de 1 cm de largo, rojizo, con inflorescencias y flores blancas, pequeñas, dispuestas en amplias panojas terminales cónicas de 12 a 20 cm de largo, algo perfumadas y el fruto es una baya azulada y globosa de 8 a 10 mm de diámetro. Florece en primavera-verano y fructifica en otoño, con gran cantidad de frutos en cada panoja, con una producción prolífica de semillas viables ( $> 2000/m^2$ ), las cuales conforman un banco de propágulos persistentes ( $> 1$  año). Su dispersión es fundamentalmente por las aves (ornitócora), y el agua (hidrocoria), entre otras causas por el bajo peso de las semillas.

Los ambientes favorables para su desarrollo son muy variados, siendo los más favorables para su propagación los bosques ribereños. Su capacidad de adaptación, tasas de crecimiento muy elevadas y las características ecológicas del país contribuyeron a su rápida diseminación que la constituyó en una de las más agresivas especies invasoras del bosque nativo (Nebel y Porcile, 2006).

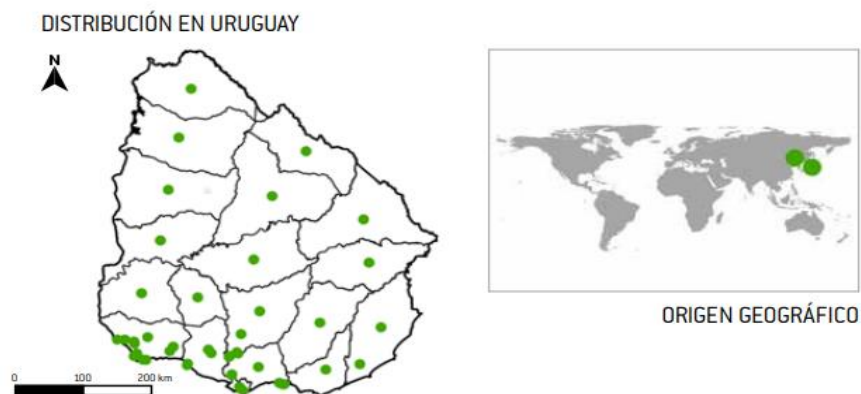


Imagen 13: Distribución de la especie / Fuente: <http://inbuy.fcien.edu.uy>





Ejemplares adultos de ligustro



Arroyo Miguelete, Colonia

Imagen 14: Ejemplares adultos de Ligustro / Fuente: Nebel y Porcile, 2006 y *Especies exóticas invasoras leñosas: Experiencias de control*, CEEI.

## 10.2 Elección de softwares para el tratamiento de los datos LiDAR

### 10.2.1 Resumen

Estudiadas e investigadas todas las opciones encontradas para definir sobre cuál o cuáles plataformas se desarrollará el trabajo, se ha elegido trabajar principalmente sobre la plataforma ArcGis, (con licencia de estudiante para no incurrir en costos que serían difícil de afrontar), y también apoyados en el paquete de herramientas “LASTools” y el software “FUSION”.

Se eligieron estos softwares principalmente por la gran capacidad para manejar y procesar datos LiDAR, y también por la disponibilidad de material instructivo que se puede encontrar en la web para un eficaz y eficiente uso de los mismos. Además, en el Departamento de Geomática se cuenta con docentes referentes para consultar sobre el funcionamiento de estas herramientas.

### 10.2.2 Opciones investigadas

En el dominio de la informática, hoy en día, se pueden distinguir tres tipos de softwares a los que los usuarios, de una forma u otra, pueden acceder.

Estos son:

- Software comercial
- Software gratuito
- Software libre

Dentro que cada tipo mencionado, existen varias ofertas de softwares que permiten el tratamiento, procesamiento y análisis de datos LiDAR. Cada uno con sus ventajas y desventajas, mejores o peores prestaciones, mayor o menor disponibilidad para el usuario, etc.

Es aquí entonces, cuando se deben evaluar las diferentes opciones y ofertas, para así elegir uno o más softwares que permitan trabajar de forma adecuada de acuerdo a los objetivos planteados. La idea es buscar la mejor relación prestación-costo.

A continuación se describen, en forma breve, las distintas opciones de softwares dentro de cada tipo:

## 1. Software Comercial

Es aquel software que es comercializado, en el que el usuario tiene limitaciones de uso y de modificación.

Los programas comerciales, de acuerdo a lo investigado, que se pueden encontrar para el tratamiento de datos LiDAR son:

- **ArcGis** con sus extensiones específicas para datos LiDAR (Aplicación LP360 y la extensión LiDAR Analyst).
- **Global Mapper 11**
- **FME** (Feature Manipulation Engine)

## 2. Software Gratuito

El software gratuito es aquel que se distribuye libremente pero que no puede ser modificado y/o redistribuido libremente.

En este caso, las opciones son las siguientes:

- **LASEdit**
- **Furgo Viewer**
- **FUSION**

Los primeros dos tienen licencias gratuitas y licencias de pago con mayor número de funciones. Las prestaciones y opciones de análisis de estos visores no son tan buenas como las brindadas por el software FUSION.

Este último es un software gratuito desarrollado por el Servicio Forestal y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Está orientado al análisis forestal con datos LiDAR, por lo que sus herramientas se centran exclusivamente en este ámbito.

## 3. Software Libre

El software libre es aquel que puede ser usado, copiado, estudiado, modificado y redistribuido libremente. El software libre se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y distribuir el software modificado.

Dentro de ésta categoría se pueden encontrar varias opciones:

- **gvSIG** con la extensión Dielmo Open LiDAR
- **libLAS**
- **LASTools**
- **Herramientas LiDAR Solutions**
- **FELIS Analyst**

Cabe destacar que estas opciones brindan menos prestaciones o potencial para el tratamiento de los datos que los softwares FUSION o ArcGis, por ejemplo.

### 10.3 Conceptos y marco teórico empleado

#### ***Modelos Digitales de Terreno***

Uno de los conceptos más importantes utilizados para el procesamiento es el de Modelo Digital de Terreno (MDT).

Podemos definir Modelo (en general) como “una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades”. Turner (1970/364) distingue tres tipos básicos de modelos; icónicos, analógicos y simbólicos.

Los MDT se encuentran dentro de esta última categoría y están definidos como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Un MDT puede

representar cualquier variable que cumpla los requisitos de la definición pero en este trabajo se aplicarán dos:

- Modelos digitales de elevación (MDE)
- Modelos digitales de superficie (MDS)

Un terreno puede describirse como una función de dos variables continua  $z = f(x, y)$  donde  $z$  es la cota del terreno en el punto de coordenadas  $(x, y)$ , por tanto se puede decir que un modelo digital de elevaciones (MDE) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno siendo esta última una variable cuantitativa y continua.

La unidad básica de información en un MDE por lo tanto, es un valor de altitud (variable “ $z$ ”) al que acompañan los valores correspondientes de “ $x$ ” e “ $y$ ”, expresados en un sistema de proyección geográfica para una precisa referenciación espacial. Las variantes aparecen cuando se definen las interrelaciones entre estas unidades elementales de información. El diseño de estas interrelaciones es lo que configura diferentes opciones en la estructura de datos, cuya elección es de gran importancia ya que condiciona completamente el futuro manejo de la información. Existen varias de alternativas para la representación de los MDE, pero en todas ellas la altitud se describe básicamente mediante un conjunto finito y explícito de cotas. El valor propio de un punto de localización arbitraria será, en su caso, estimado por interpolación a partir de los datos de su entorno.



Por otro lado, los modelos digitales de superficie (MDS) capturan las características naturales y las construcciones (naturales y/o artificiales) sobre la superficie de la Tierra, siendo la altura de los mismos la variable representada y al igual que en los MDE se tiene un valor altura para cada punto x e y.

### ***Distribución normal***

Otro concepto que se utilizará al analizar datos es el de distribución normal. Para hacer referencia a esto es necesario primeramente definir el concepto de variable aleatoria continua. Una variable aleatoria continua es aquella que puede asumir un número infinito de valores dentro de un determinado rango.

La “Normal” es la distribución de probabilidad más importante. Multitud de variables aleatorias continuas siguen una distribución normal o aproximadamente normal. Una de sus características más importantes es que casi cualquier distribución de probabilidad, tanto discreta como continua, se puede aproximar por una Normal bajo ciertas condiciones.

Definición de “*Función de densidad de probabilidad*”:

Función densidad de distribución normal  $f(x)$

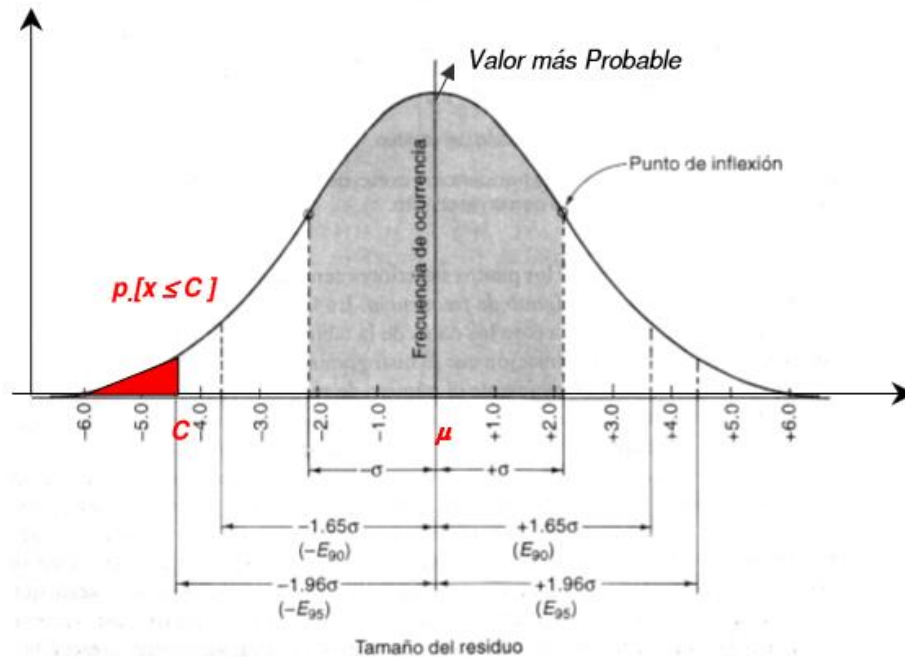


Imagen 15: Función de densidad de probabilidad

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Parámetros:

- $\mu$ : media o promedio, es el valor que corresponde a la medida o magnitud de la abscisa del baricentro de la curva y coincide con el valor máximo de probabilidad
- $\sigma$ : desviación estándar, mide la dispersión de los valores respecto a  $\mu$ .

La distribución de probabilidad normal y la curva normal que la representa, tienen las siguientes características:



- La curva normal tiene forma de campana y un solo pico en el centro de la distribución. De esta manera, la media aritmética, la mediana y la moda de la distribución son iguales y se localizan en el pico. Así, la mitad del área bajo la curva se encuentra a la derecha de este punto central y la otra mitad está a la izquierda de dicho punto.
- La distribución de probabilidad normal es simétrica alrededor de su media.
- La curva normal desciende suavemente en ambas direcciones a partir del valor central. Es asintótica, lo que quiere decir que la curva se acerca cada vez más al eje X pero jamás llega a tocarlo. Es decir, las “colas” de la curva se extienden de manera.

Otro concepto importante a tener en cuenta dentro de este tema es la interpretación de la *campana de gauss*. El *Teorema de Chebyshev* dice que:

$X \sim N(\mu, \sigma)$  , entonces:

- $P(\mu - \sigma < X < \mu + \sigma) = 0.68$
- $P(\mu - 2\sigma < X < \mu + 2\sigma) = 0.95$
- $P(\mu - 3\sigma < X < \mu + 3\sigma) = 0.997$

Es decir, el 68% (aproximadamente) de los valores que tome la variable aleatoria X estarán situados a una distancia de la media inferior a una vez de la desviación estándar. Análogamente, el 95% de los valores estarán

situados a menos de dos veces la desviación estándar, y un 99,7% de dichos valores se encontrarán dentro un radio de tres sigma.

#### **10.4 Elección de las zonas a estudiar según el vuelo LiDAR**

Una vez estudiada la zona completa del vuelo LiDAR “Proyecto Arroyo Parao”, se seleccionaron y eligieron las zonas con las cuales se realizaron los diferentes procesamientos y análisis. Es decir, en esta etapa el objetivo fue seleccionar una muestra de los datos crudos LiDAR.

Las zonas o archivos “.las” obtenidos del vuelo se distribuyen en cuadrados de 1km de lado. Básicamente la selección se basó en elegir aquellos cuadrados que estuvieran más cubiertos por el bosque nativo en las riberas del arroyo Parao, usando las imágenes satelitales que ofrece Google Earth o Google Maps. Esto significa que aquellas zonas que sean más densas en cuanto a área cubierta por bosque serán de mayor interés ya que se podrá obtener mayor y mejor información, de acuerdo a los objetivos planteados.

De esta manera, se eligieron nueve zonas o nueve archivos “.las”, con los cuales se trabajó en este proyecto. Cabe destacar algunas características de estos archivos:

- Total de puntos: 25.510.226
- Tamaño total de los archivos descomprimidos: 681,2 MB

Estas zonas se ubican al norte de la ciudad de Vergara, departamento de Treinta y Tres.

A continuación se muestran imágenes de las zonas seleccionadas, así como también la zona total que abarcó el vuelo LiDAR.



Imagen 16: Zonas elegidas para el trabajo / Fuente propia

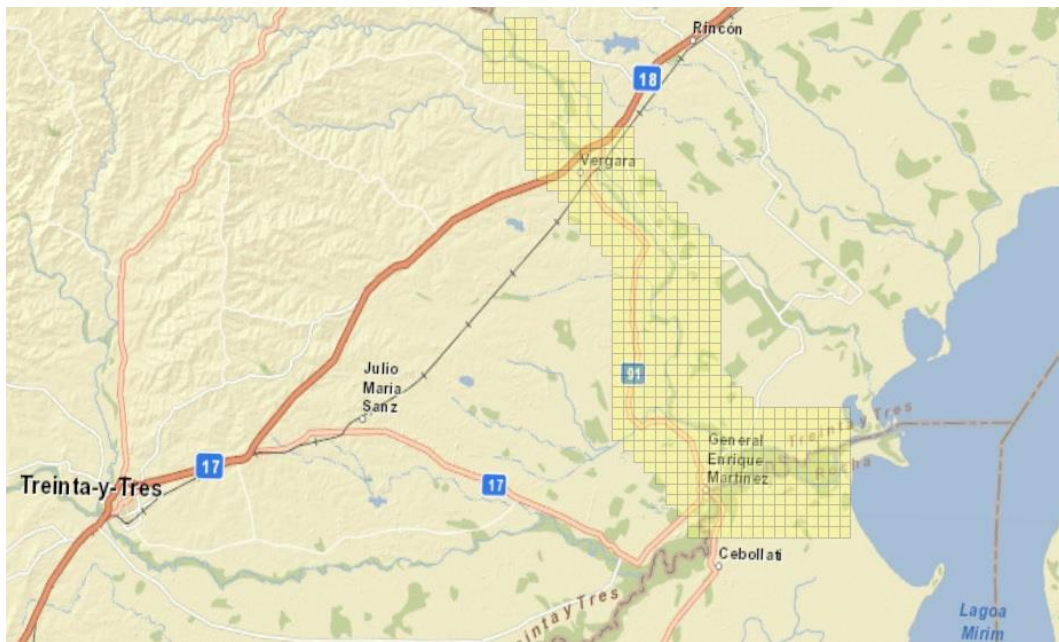


Imagen 17: Zona total del vuelo LiDAR / Fuente propia

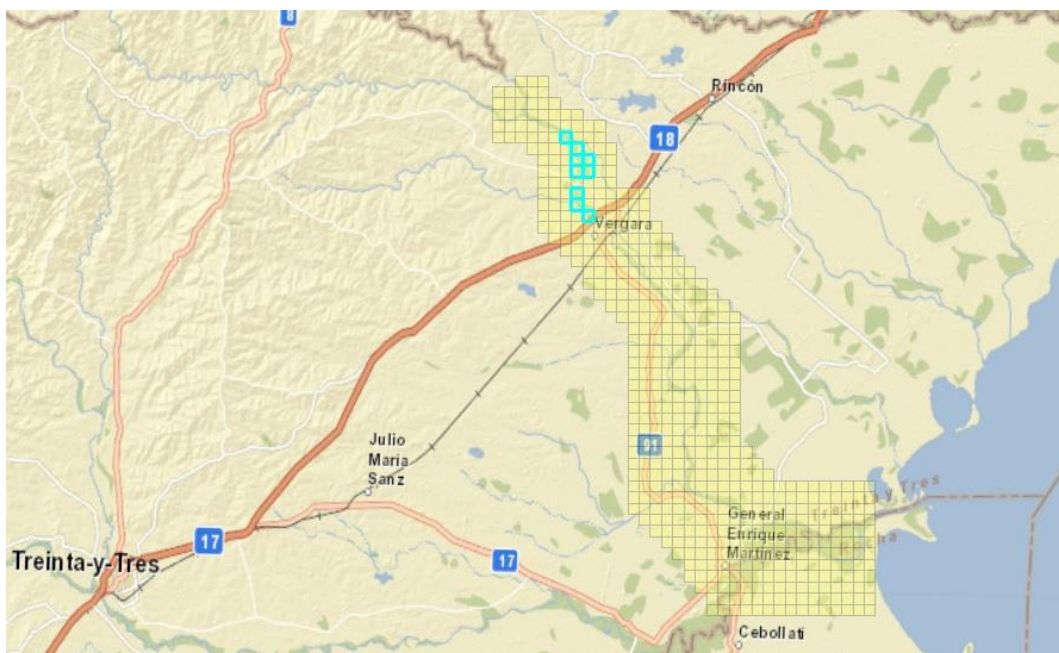


Imagen 18: Zonas seleccionadas dentro del vuelo total / Fuente propia



## 10.5 Procesamiento de los datos

### 10.5.1 Filtrado y análisis de los datos crudos

El programa informático seleccionado para trabajar, como se mencionó, es Arcgis. En este, los archivos “.las” no pueden abrirse directamente si no que para poder visualizar y trabajar con la nube de puntos se debe utilizar la herramienta “Create LAS dataset” que permite crear un conjunto de datos “.las” de uno o más archivos con dicho formato.

Para que los procesos a realizar fueran más rápidos se decidió crear un dataset por archivo y se trabajó con cada zona por separado.

La nube de puntos en la mayoría de las zonas tenía puntos de elevaciones cercanas a los 700 m (mientras que los puntos más elevados del bosque apenas alcanzaban los 56 m de altura) que impedían un análisis preliminar del archivo dado que no se tenía un correcto rango de alturas por las distorsiones causadas por los mismos.

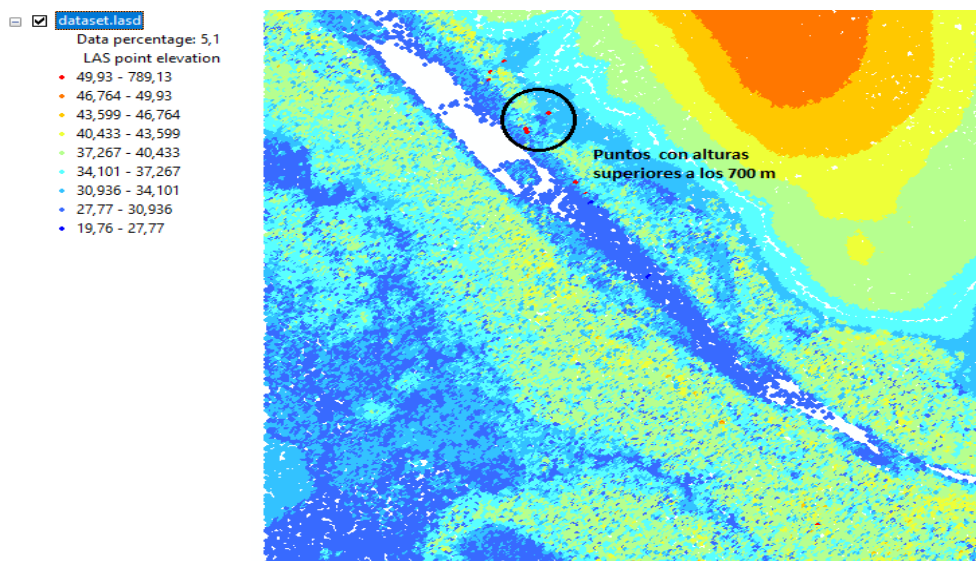


Imagen 19: Dataset con puntos de alturas superiores a 700 m / Fuente propia

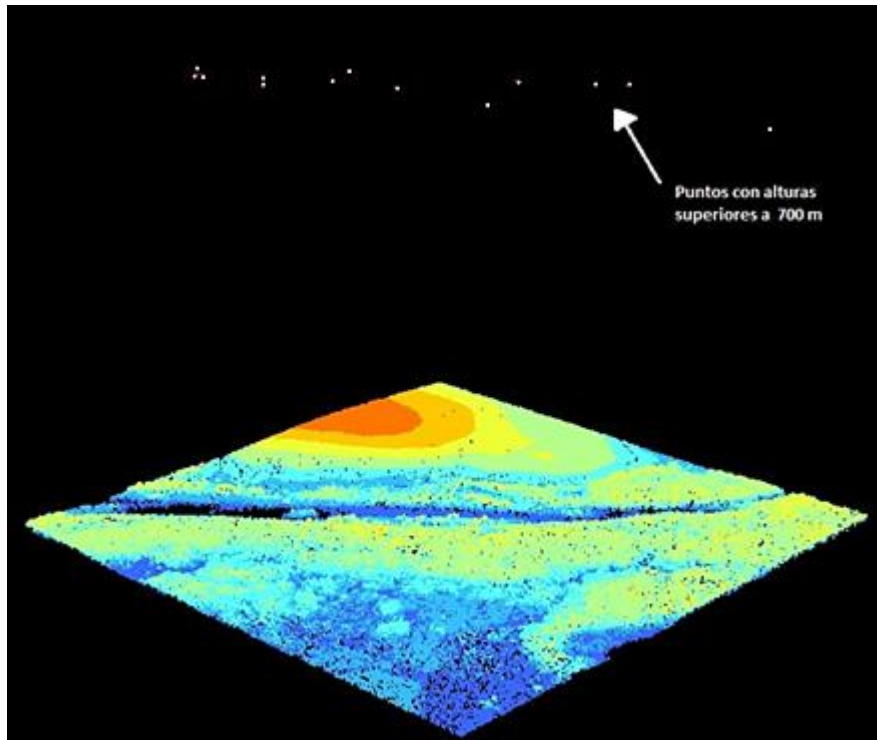


Imagen 20: Vista lateral de los puntos (.las) / Fuente propia

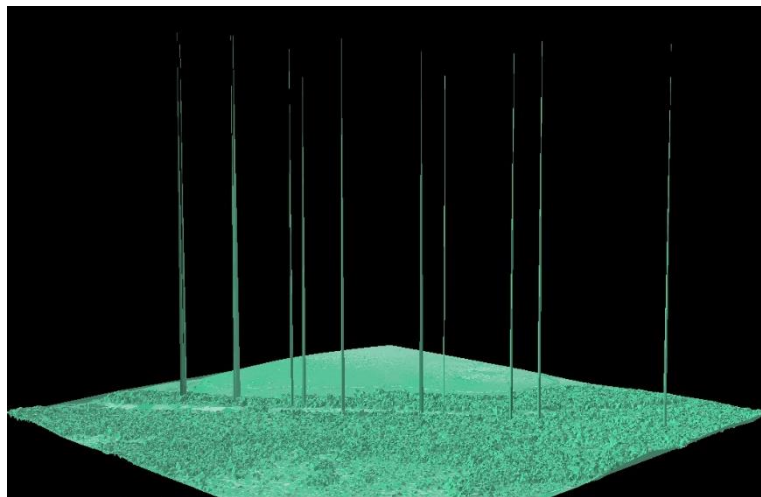


Imagen 21: Vista lateral de los puntos (modelo) / Fuente propia

Los archivos contaban con una clasificación de ruido, la cual incluía a estos puntos mencionados. Dado que se desconocía la razón de la existencia de dichos puntos y que eran pocos (no más de 1000 puntos por

archivo) lo primero en hacer fue un filtrado de los mismos, a fines de tener un nuevo archivo que excluyera estos puntos para trabajar.

Para la eliminación de estos puntos se utilizó la herramienta “lasnoise” del paquete de herramientas “lastools” disponible para Arcgis. Dicha herramienta permite eliminar puntos que están previamente clasificados como ruido.

En esta herramienta se cargó el archivo a remover los puntos y dado que los puntos se encontraban totalmente aislados del resto alcanzaba con los parámetros por defecto de definición de tamaño de celda y cantidad puntos vecinos máximos para considerarlos como aislados. Dentro del tipo de tratamiento de puntos se seleccionó la opción remover puntos y como formato de salida del nuevo archivo se seleccionó formato “.las”.

Esto generó un nuevo archivo “.las”, lo que permitió hacer un análisis preliminar de los rangos de alturas que se manejaban, de la distribución del bosque nativo y de las pendientes del terreno.

### **10.5.2 Generación de Modelos Digitales de Superficie (MDS)**

Como se mencionó anteriormente los archivos vienen en cuadrículas y las mismas contaban con aproximadamente 2.8 millones de puntos por lo cual se decidió procesar cada zona de forma aislada buscando que los procesos fueran más rápidos, por lo que se generó un MDS para cada una de las zonas.

El modelo de superficie implica representar la altura todos los objetos que se encuentran sobre la superficie terrestre por lo que para este caso se utilizaron los puntos que corresponde al primer rebote del Lidar (filtrado de puntos “Non ground”).

Para poder generar el modelo se utiliza la herramienta “las dataset to raster”. Esta herramienta utiliza los puntos del archivo “.las” seleccionados para generar un archivo en formato ráster en el cual a cada celda se le asigna el valor de la variable que se quiere representar (elevación, intensidad o RGB).

Para este caso en particular la variable a representar es la elevación del punto que corresponde al primer objeto encontrado por el pulso LiDAR (puntos del primer rebote).

Para la determinación del valor de celda se debe establecer el método a utilizar. Dentro del programa existen varias opciones para este cálculo. En primer lugar, hay dos métodos para el cálculo de los valores de celdas, estos son: binning y triangulación. El primero consiste en determinar cada celda de salida usando los puntos contenidos en su extensión, rellorando las celdas que no contengan puntos a partir de las ya calculadas, mientras que el segundo obtiene los valores de celdas usando un método basado en una red de triángulos irregulares llamado “Triangulation Irregular Network” (TIN).

Para esta tarea se decidió optar por el primer método, debido a que genera cambios menos abruptos en los modelos, y acorta los tiempos de



procesamiento para un mismo tamaño de píxel de salida. En este método se deben determinar la forma en la que se calcularán los valores de las celdas y también cómo se asignaran los valores de aquellas que no contengan puntos.

Las opciones que presenta el programa para el cálculo de valores de cada celda en caso de tener puntos son cinco:

- **AVERAGE:** asigna el valor promedio de todos los puntos dentro de la celda. Esta es la opción predeterminada.
- **MINIMUM:** asigna el valor mínimo de los puntos que se encuentran dentro de la celda.
- **MAXIMUM:** asigna el valor máximo de los puntos que se encuentran dentro de la celda.
- **IDW:** utiliza la interpolación ponderada por distancia inversa para determinar el valor de la celda.
- **NEAREST:** utiliza la asignación de vecino más cercano para determinar el valor de celda.

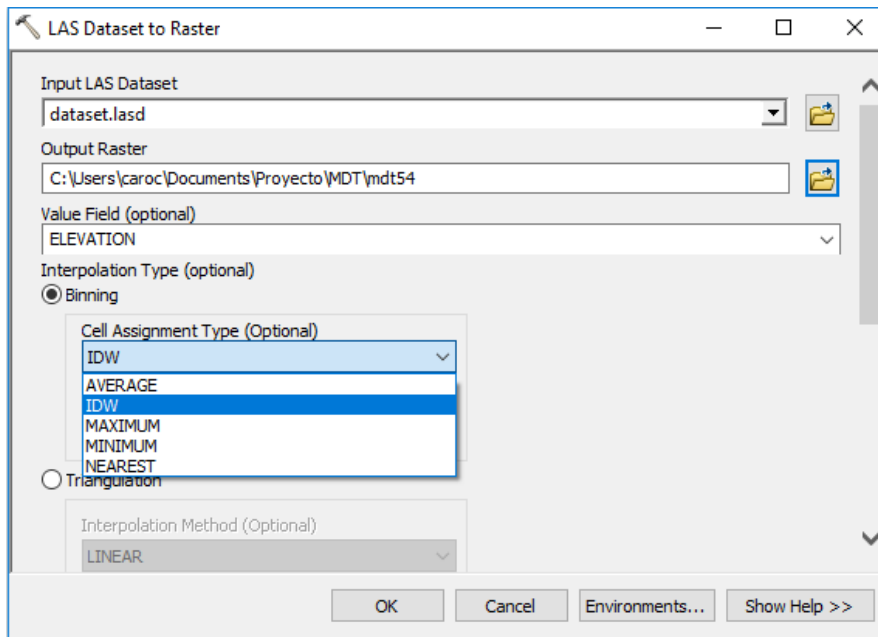


Imagen 22: Opciones de cálculo de valor de celda / Fuente propia

Para este trabajo en particular se optó por trabajar con el método IDW ya que generaba valores más cercanos a la realidad dado que la distribución de alturas en el bosque podría tomarse como continua. Este método tiene la desventaja que se diluyen los límites de los objetos, en este caso los límites del monte nativo, sin embargo no es un problema en este caso dado que lo que se quiere estudiar es lo que sobresale del mismo y no la estructura horizontal. Otro método posible para esta etapa podría haber sido el de “Máximo”, este método no tiene problemas con la definición de los límites del bosque pero no genera una continuidad entre píxeles, haciendo que existan saltos importantes que afectan el análisis que se quiere realizar del modelo resultante.

Por otro lado se debe determinar cómo se asignan los valores de las celdas que no contienen puntos, es decir el método para rellenar píxeles.

Esto se hace a partir de las celdas ya calculadas y 4 opciones:

- NONE: se asigna NoData a la celda.
- SIMPLE: calcula el promedio de los valores de los datos de las celdas que rodean a la celda NoData para eliminar pequeños vacíos.
- LINEAR: realiza la triangulación en las áreas vacías y utiliza la interpolación lineal en el valor de triangulación para determinar el valor de celda. Esta es la opción predeterminada.
- NATURAL\_NEIGHBOR: utiliza la interpolación de vecinos naturales para determinar el valor de celda.

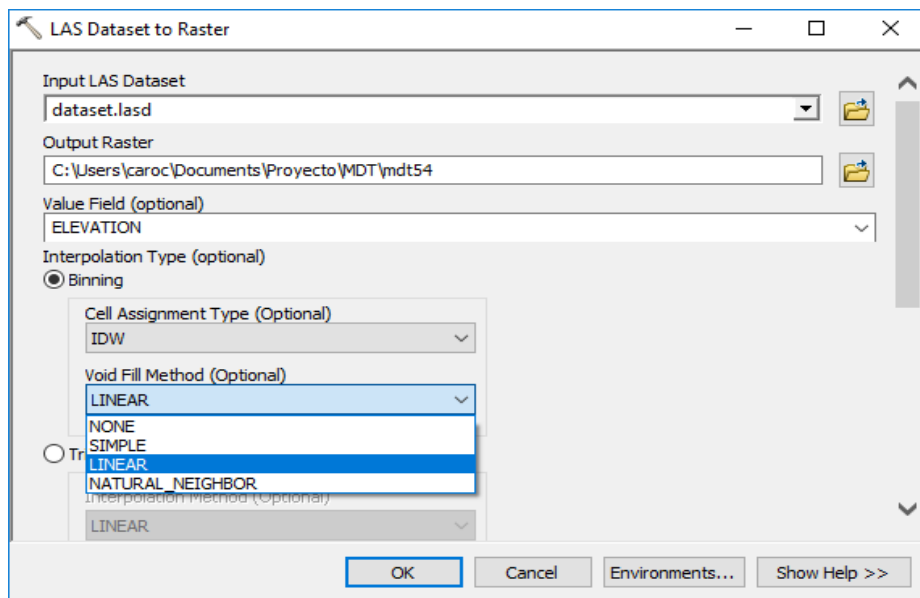


Imagen 23: Opciones de rellenado de celdas / Fuente propia

Por las mismas razones expuestas para el método de asignación anterior se optó por la opción de lineal.

La necesidad de un método de asignación y otro de relleno se debe a que la celda del archivo ráster generado no siempre abarca un punto solo si no que puede abarcar varios o ninguno en función del tamaño de la celda y de la distancia entre puntos. La distancia entre puntos de los archivos seleccionados es en promedio de 0,65cm, dependiendo de la zona considerada. Cabe destacar que esta distancia considera todos los puntos que se encuentran en el archivo pero al momento de generar los modelos no se utilizan en su totalidad sino que un 90-95% de estos por lo que la distancia promedio se verá incrementada en las zonas de bosque donde se dan mayoritariamente los segundos rebotes. El tamaño de la celda se define a través del “Sampling type” y “Sampling value”. El segundo es un valor dado, y la interpretación de dicho valor viene dada por el “Sampling type” que determina si el valor tiene relación con el tamaño de celda o con cantidad de celdas que dividen el lado más largo de la extensión del “LAS Dataset”.

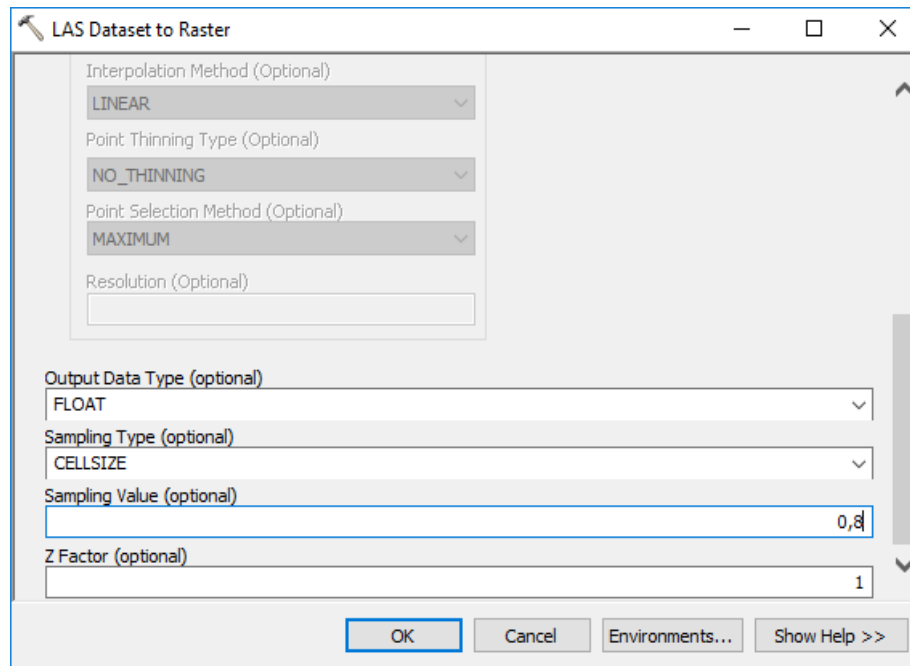


Imagen 24: “Sampling type” y “Sampling value” utilizados / Fuente propia

Para esta práctica optamos por definir el tamaño de celda y utilizamos un valor de 0,8. Es decir que el tamaño del píxel de cada modelo digital de terreno será de 80cm de lado.

Con todos estos parámetros se obtuvieron los MDS de las 9 zonas requeridas. A continuación se muestra un archivo procesado, análogamente se realizaron los 8 restantes):

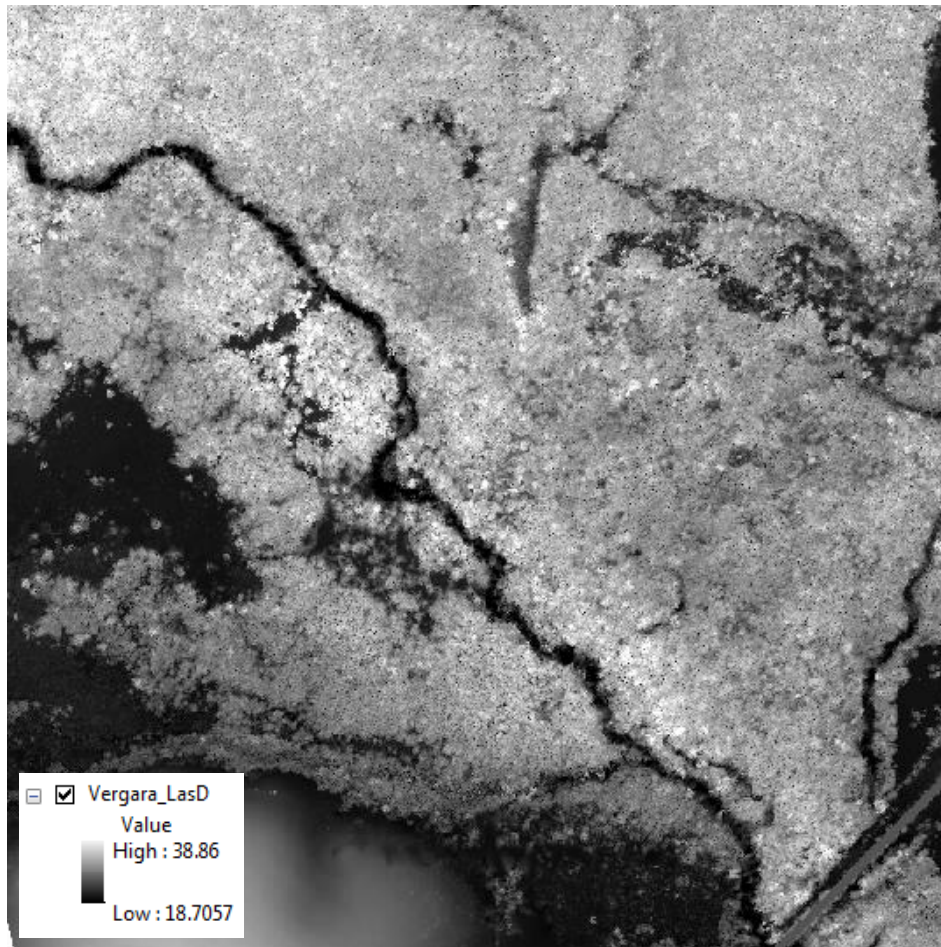


Imagen 25: Modelo digital de superficie obtenido / Fuente propia

### 10.5.3 Generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE)

La generación de los modelos digitales de elevación es muy similar a la anteriormente descrita. La diferencia más significativa está dada por el grupo de puntos con los cuales trabajar ya que en este caso solo se requerían aquellos puntos correspondientes al suelo.

Se utilizó la misma herramienta y también se consideró la elevación para la generación del modelo utilizando el grupo de puntos clasificado como suelo.

En cuanto a la selección de métodos a utilizar, se optó por utilizar las mismas opciones que en el caso anterior, es decir, método binning dentro del cual se seleccionó IDW para asignación y lineal para llenado de vacíos. En este caso se disponía de una menor cantidad de puntos (28% de la cantidad total de puntos, mientras que en el otro caso se disponía de un 90%). Al analizar la distribución de los puntos, se observa que no es homogénea, diferenciándose las zonas en donde hay bosque de las zonas en que no lo hay. A continuación se muestran una imagen de los puntos LiDAR clasificados como "suelo".

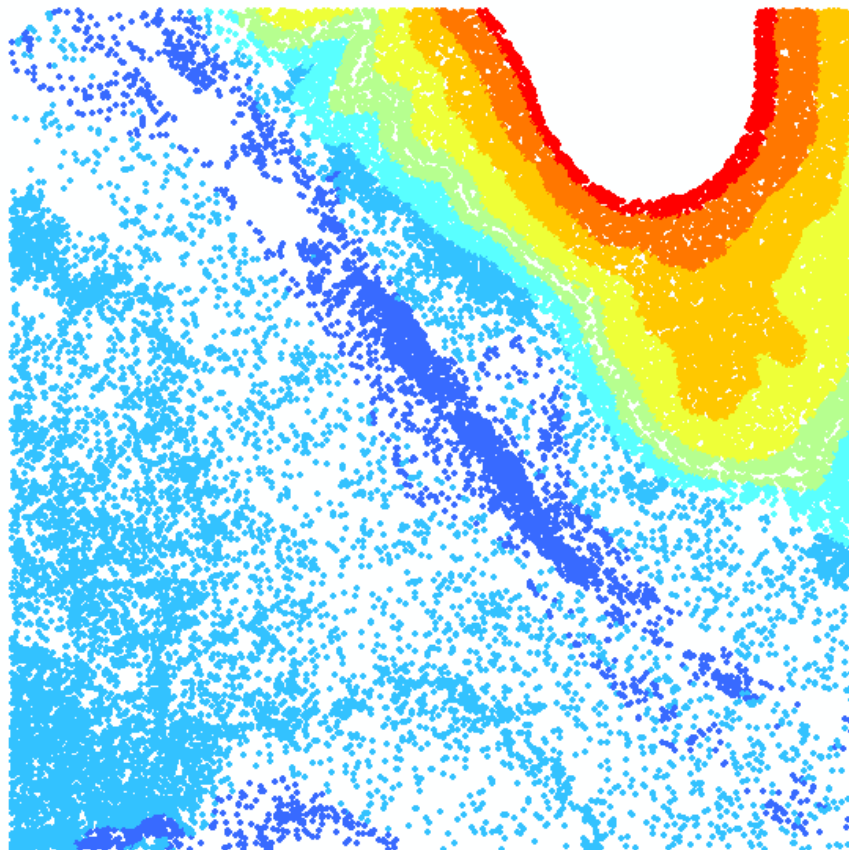


Imagen 26: Distribución de los puntos ".las" clasificados como suelo / Fuente propia



Para trabajar con ambos modelos en conjunto (MDS y MDE) es necesario que el tamaño del píxel sea el mismo por lo que se decidió usar los mismos valores de “Sampling type” y “Sampling value”, pero al existir diferentes distribuciones de puntos, existen zonas donde la mayor parte del modelo está dada por la interpolación lineal de llenado de vacíos seleccionada y no por el método de IDW, perdiéndose la ponderación por distancia para un gran número de celdas.

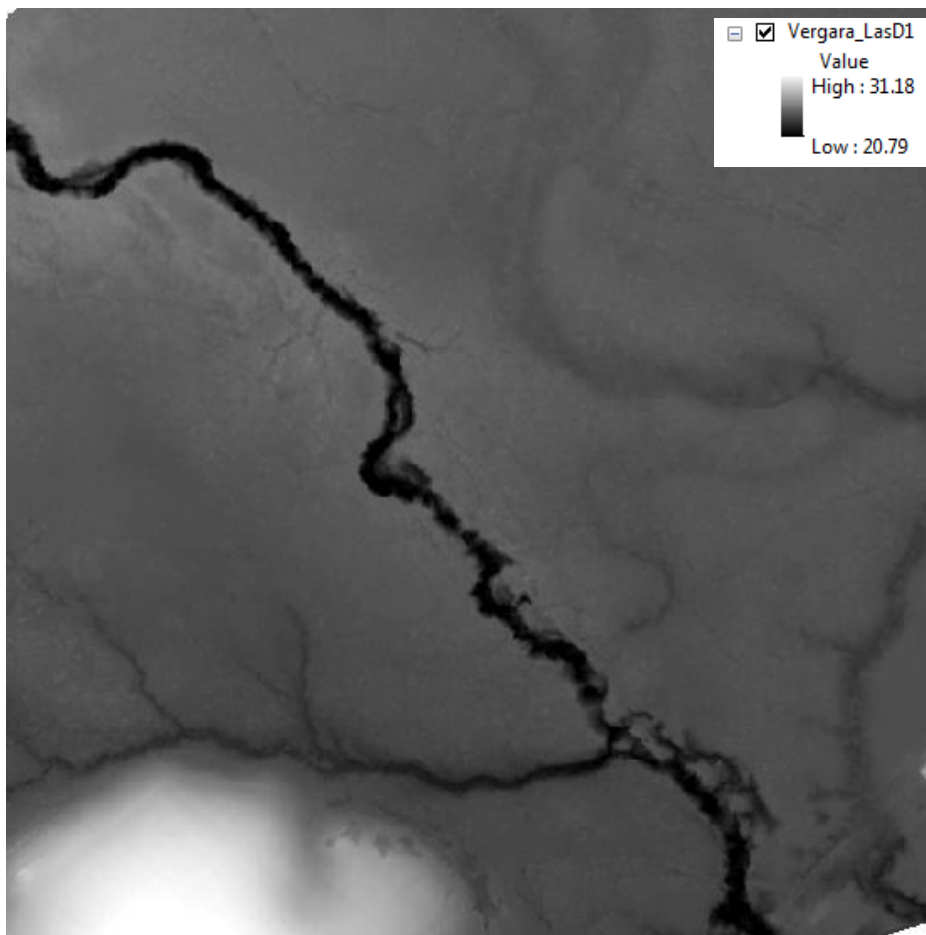


Imagen 27: Modelo digital de elevaciones obtenido / Fuente propia



#### 10.5.4 Generación de Modelos Digitales de Alturas (MDA)

El modelo de alturas se entiende como un modelo en el cual los valores de los píxeles representan las alturas de los objetos por lo tanto para generarlo basta con hacer la diferencia de los dos modelos descritos anteriormente.

Por lo tanto, simplemente, a través de la “calculadora ráster”, se realizó la operación “resta” entre el modelo de superficie y el modelo de elevaciones.

Teóricamente esta resta debería generar un modelo en el cual, para las zonas donde no se encuentran objetos sobre la superficie el valor es cero y para las demás el valor es la altura del objeto.

Dado que los modelos se obtienen a partir de interpolación de puntos, como ya explicamos en el punto anterior, el modelo de superficie se crea utilizando una mayor interpolación lineal mientras que el otro modelo utiliza mayoritariamente IDW. Esto trajo como consecuencia que dentro del modelo se crearon píxeles con valores de altura negativos.

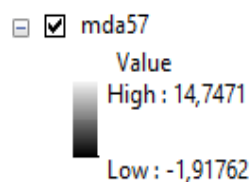


Imagen 28: Rango de valores del MDA / Fuente propia

Estos valores se dan en zonas de terreno o partes de agua y no son de gran influencia para el análisis por lo que se optó por eliminarlos. Para esto se utilizó la herramienta condicional (con) dentro de la “calculadora ráster” y se le asignó valor cero a todos aquellos valores que eran negativos dejando el resto de los valores igual. Esta operación fue realizada en trabajos de referencia mencionados anteriormente.

A continuación se muestra el modelo obtenido para una de las zonas:

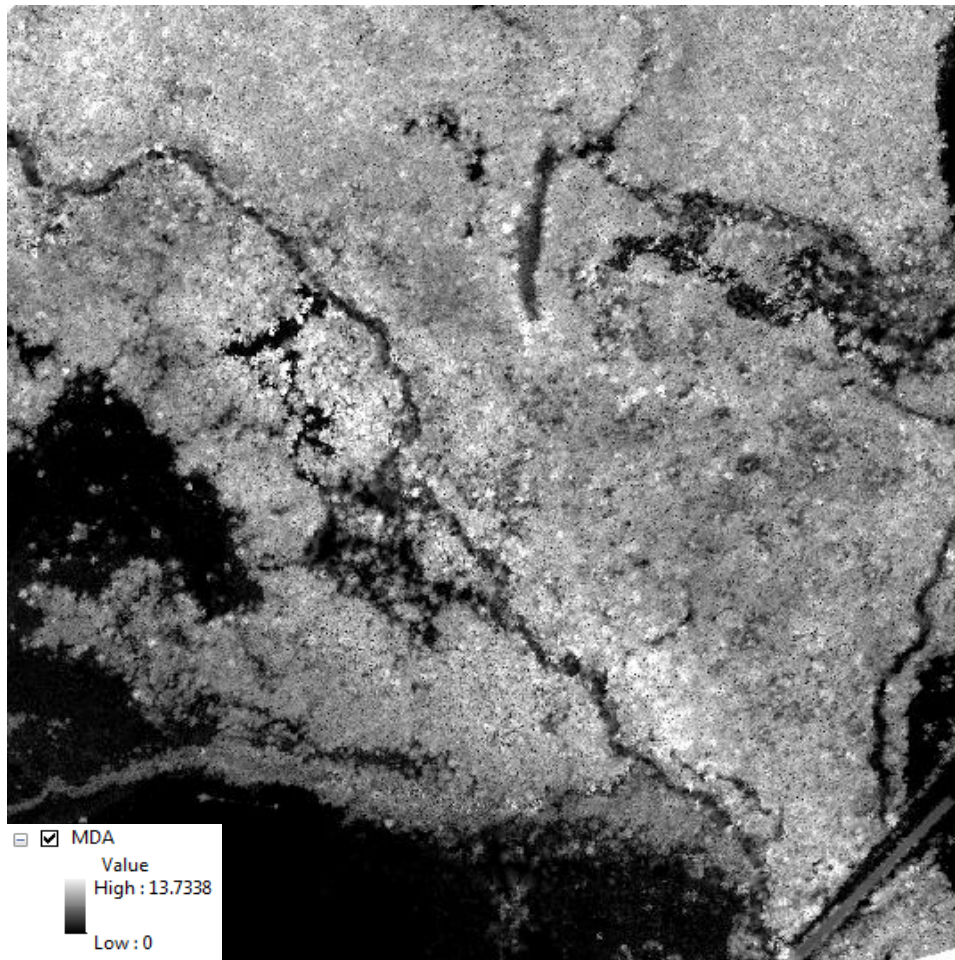


Imagen 29: Modelo digital de alturas obtenido / fuente propia

### 10.5.5 Análisis de los modelos y cálculo de la altura media

Una vez obtenidos los modelos de alturas se procedió al cálculo del estrato superior del monte.

Si se realiza un corte vertical en cualquier parte del bosque como el que se muestra a continuación, se puede ver que existe una línea que limita al bosque en altura, siendo ésta la altura del estrato predominante.

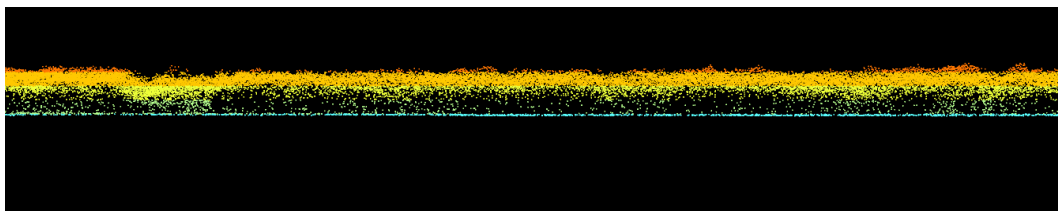


Imagen 30: Perfil LiDAR mostrando el estrato predominante / Fuente propia

Existen especies que exceden dicho estrato de forma significativa, como se puede ver a continuación y otras que su diferencia no es tan notoria.

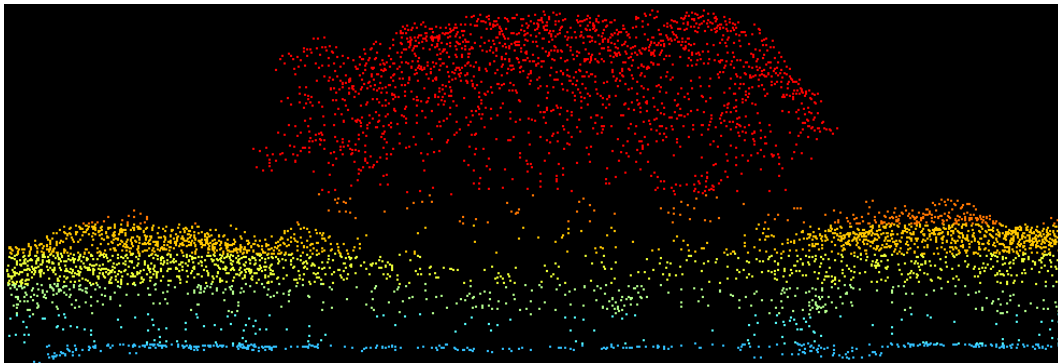


Imagen 31: Perfil LiDAR mostrando zonas superiores al estrato predominante / Fuente propia

Los árboles considerados como invasores, generalmente en edades adultas, exceden ese límite predominante, especialmente la "*Gleditsia triacanthos*" que puede alcanzar los 20m de altura mientras que el bosque

nativo en las zonas de estudio apenas supera los 10m, de acuerdo a mediciones realizadas sobre perfiles trazados en los archivos LiDAR y también en base a las definiciones dadas por el Grupo Guayubirá. Entonces, lo que se pretende lograr es definir esa “línea” a fines de poder analizar las especies que sobresalen y determinar si las mismas son o no invasoras.

Utilizaremos entonces el concepto de altura límite como el valor de altura que define el estrato del bosque, dejando por encima de este valor aquellas zonas que existe mayor probabilidad de encontrar especies invasoras.

Para realizar esto se evaluó la altura media de los archivos de modelos digitales de alturas.

La plataforma “Arcgis” proporciona dentro de los datos del archivo ráster el valor medio y la desviación estándar de los datos. Sin embargo, dado que los modelos de alturas abarcaban zonas de bosque, zonas de suelo y agua, la media estaba afectada por varias zonas cuyo valor de altura es cero.

Para evitar esto, se crearon polígonos en los cuales solo se abarcara el bosque nativo y a través de la herramienta “clip” se recortó el ráster obteniendo un nuevo archivo ráster de alturas donde solo se incluye bosque. Este ráster sí tiene un valor medio y una desviación estándar de alturas que es representativo del monte.

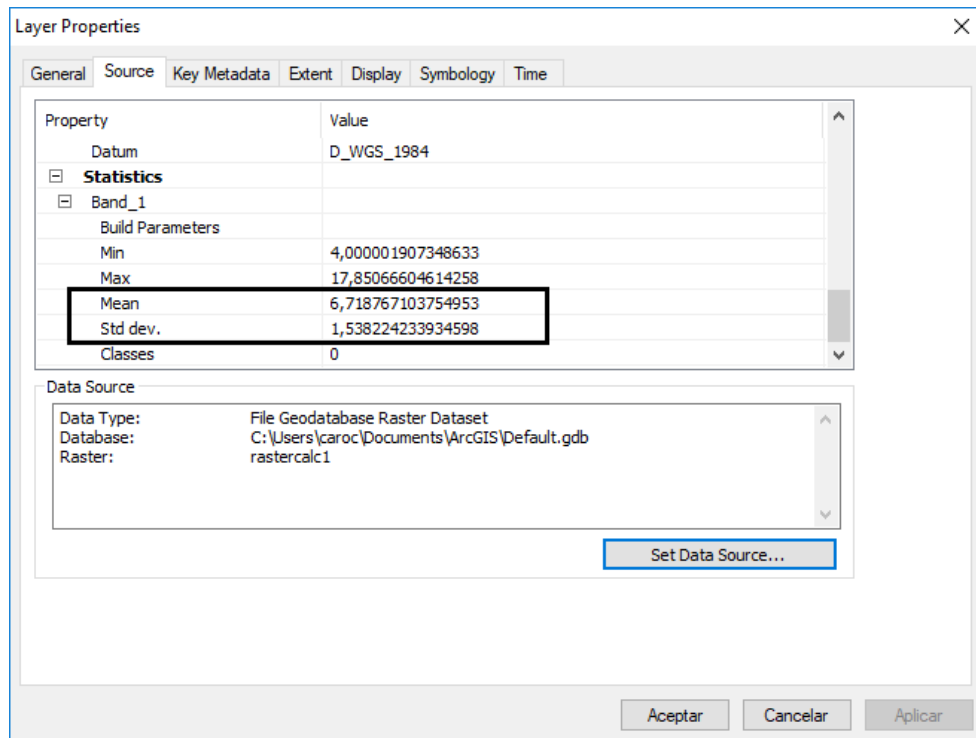


Imagen 32: Valores estadísticos del modelo ráster / Fuente propia

Como lo que se quiere es determinar el estrato superior, se pretende que la mayoría de los píxeles estén por debajo de esa línea. Por tanto se define al límite superior (LS) al valor que se obtiene de sumar al valor de media la desviación estándar de cada archivo.

$$LS = \text{Media} + (1 \times \text{Desv. Estándar}).$$

Se utilizó un 68% y no más dado que se desconoce cuán invadido está el monte. De esta forma nos aseguramos que todo aquello que pueda considerarse como superior al monte natural esté contemplado.

Este procedimiento se realizó para las 9 zonas obteniéndose un valor de *Límite superior* para cada una.

Nº Archivo	Límite superior
1	9,75
2	9,56
3	9,26
4	10,56
5	10,42
6	10,13
7	8,56
8	7,81
9	9,63

Imagen 33: Tabla de límites de altura calculados

Considerando al monte como uno solo se unificó este límite aplicando el mismo principio. Se calculó el valor medio del límite superior de cada archivo y su desviación estándar, dando el siguiente resultado:

<b>Media Total (m)</b>	<b>9,52</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>0,88</b>

Por definición de la media existen algunos archivos en los que el valor de altura límite estaba por encima de éste y sin embargo estarían considerados como monte natural por lo que se aplicó el mismo criterio, pero con el 95% para asegurar que la mayoría de los valores se correspondan con zonas altas. Se obtiene entonces el siguiente resultado, que es la *Altura Límite (AL)* definida anteriormente:

$$AL = \text{Media Total} + (2 \times \text{Desv. Estándar Total}) = \text{Valor final}$$

<b>Valor final (m)</b>	<b>11,29</b>
------------------------	--------------

### 10.5.6 Determinación de las zonas potenciales de invasión

Una vez obtenida la *altura límite* se procedió a buscar aquellas zonas donde los árboles excedan dicha altura.

Para esto se trabajó con los MDA y nuevamente la herramienta “Raster Calculator”. En este caso se utilizó una herramienta condicional (“Con”) de forma de generar un nuevo archivo ráster donde solo se conservan aquellos píxeles que cumplieran la condición establecida. Como se querían analizar las zonas cuya altura fuera mayor a 11,29m se estableció que sólo se conservarán esos valores mientras que a las demás celdas se les asignó el valor nulo.

De esta forma se obtiene un archivo ráster, donde solo tienen valores aquellas zonas que exceden la altura límite.

Como ejemplo se mostrarán procesamientos hechos para la zona N° 2.



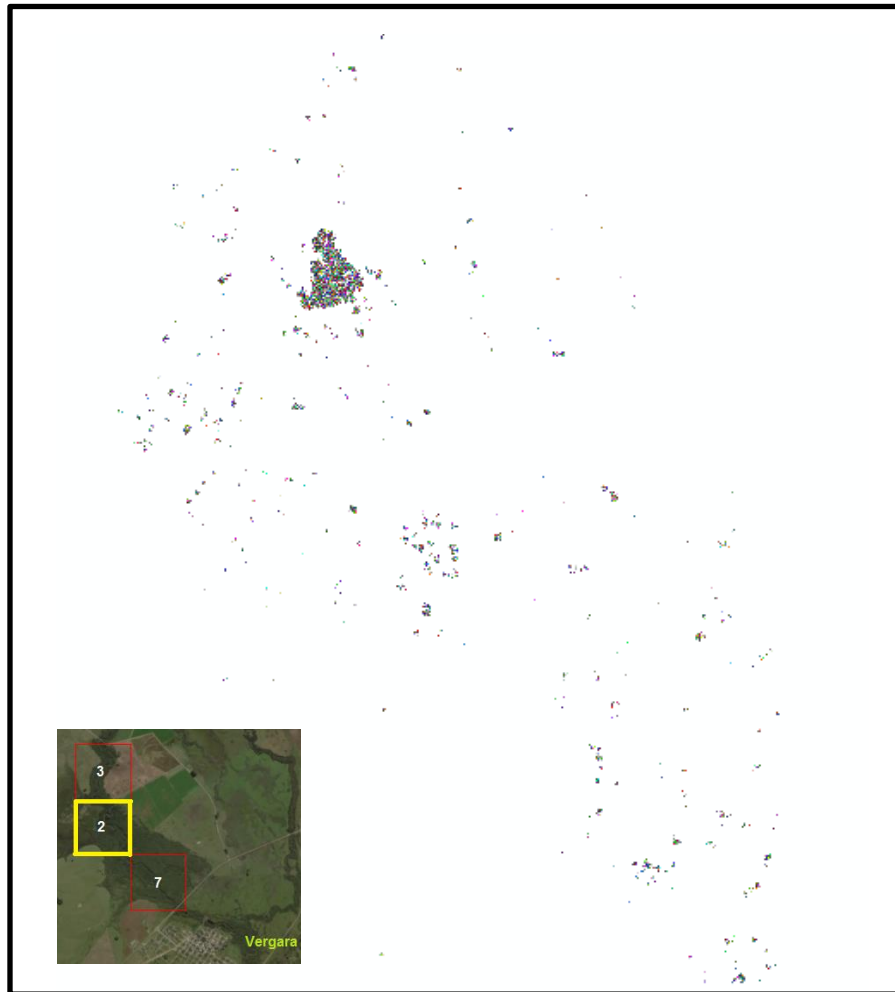


Imagen 34: Modelo ráster con alturas mayores a la altura límite / Fuente propia

A partir de este ráster, con la herramienta “raster to point” se pasó el modelo a puntos para poder hacer análisis de consultas. Con esta herramienta lo que se obtuvo es una capa o shape de puntos donde cada punto se corresponde con el centro del píxel y tiene el valor de altura como un atributo.

Con los puntos se procedió a hacer consultas por atributo de forma de ver en qué zonas se tenía mayores alturas y en cuales las alturas superan a las del monte nativo pero de forma poco apreciable. Para esto se



buscaron donde se encontraban los puntos en diferentes rangos de altura, es decir se buscó aquellas zonas donde las alturas variaban entre el límite definido y los 15m y las que tenían alturas mayores a los 15m.

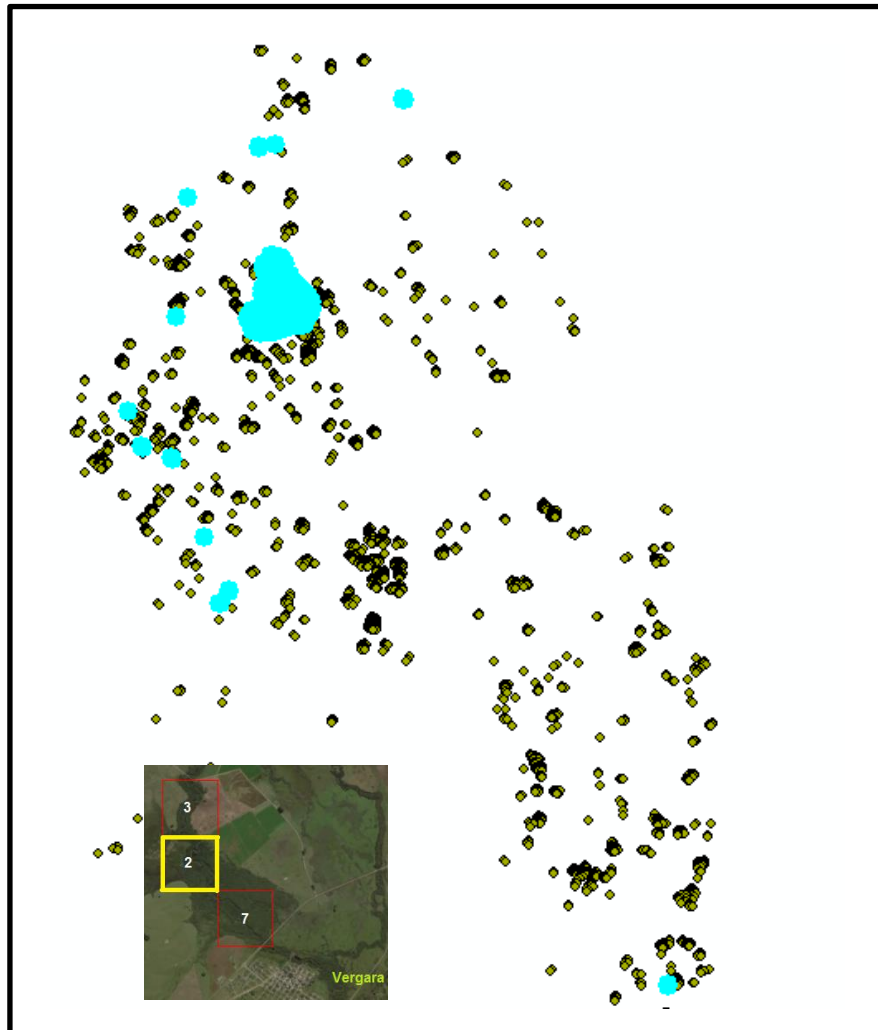


Imagen 35: Puntos con alturas superiores a los 15 m / Fuente propia

También se analizó la distribución espacial de estas zonas. Se pudo ver que existían zonas muy altas y aisladas, zonas con gran densidad de árboles altos y otras zonas donde existía en un entorno varios árboles altos pero distribuidos en el espacio.

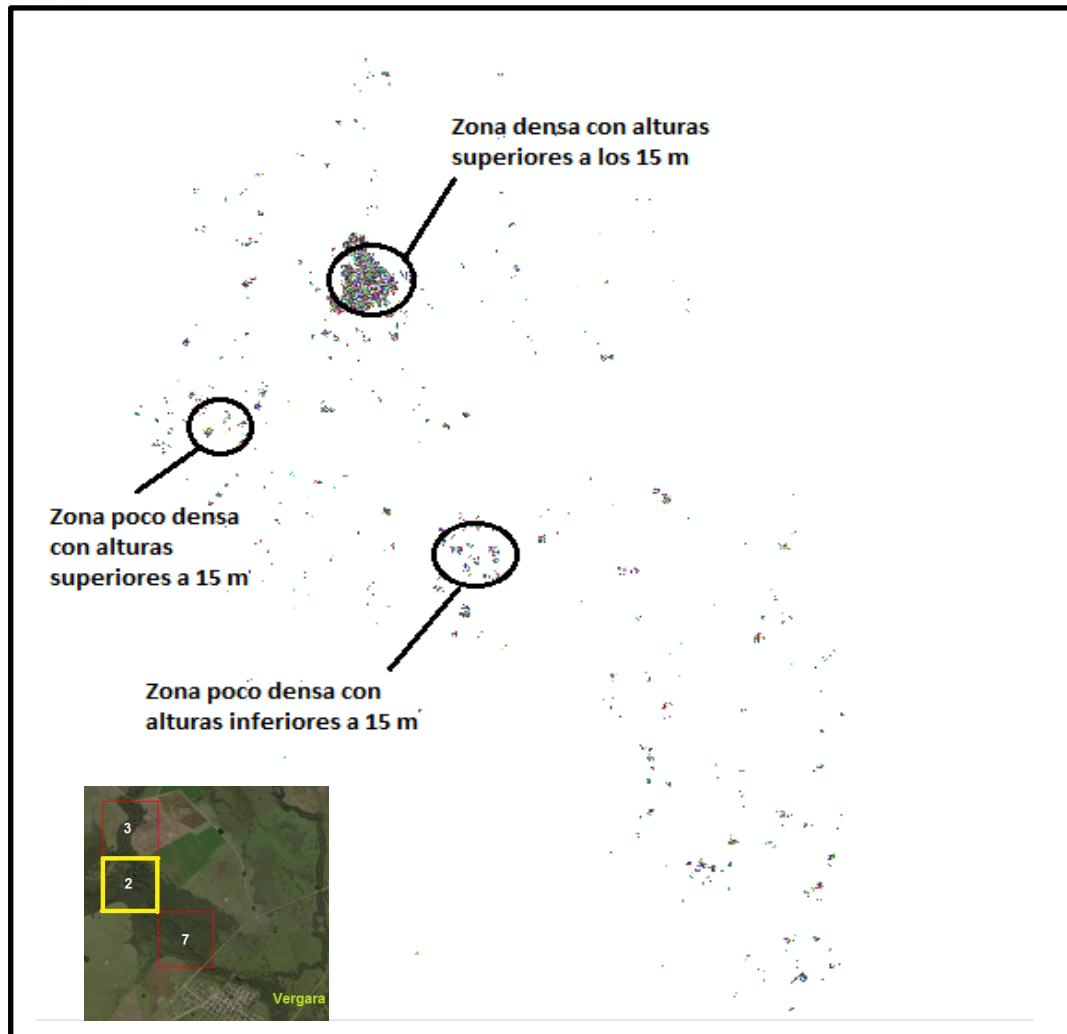


Imagen 36: Distribución espacial de las zonas / Fuente propia

A partir de estos análisis se seleccionaron varias zonas del total de zonas obtenidas de los archivos de forma que abarcaran todas las variantes encontradas, es decir, con distintos valores de alturas y distinta distribución espacial de los puntos.

A continuación se muestran las zonas seleccionadas para visitar, con círculos, sobre imágenes satelitales y los padrones involucrados.



Imagen 37: Zonas seleccionadas a visitar – Fuente Propia

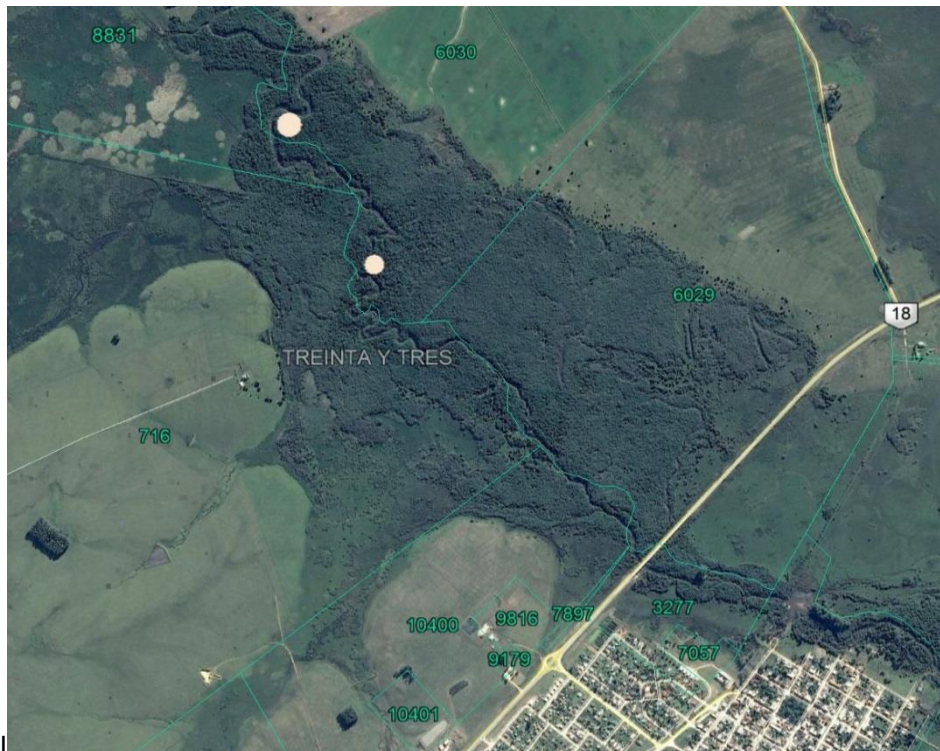


Imagen 38: Zonas seleccionadas a visitar – Fuente Propia





Imagen 39: Vista global de las zonas – Fuente Propia

### **10.5.7 Generación de modelos de intensidad y densidad**

Como complemento a los modelos digitales de alturas, se generaron modelos de intensidad y densidad con la finalidad de establecer, si es que existe, una relación entre estas variables y la altura del árbol.

Para esto se generaron dos tipos de modelos, el primero es el modelo de intensidad (de los pulsos LiDAR) y el segundo es el modelo de densidad de puntos.

La intensidad es un dato que viene en las estadísticas de los archivos “.las” y al igual que los modelos de elevación y superficie se crea con la herramienta “LAS Dataset to Raster”. El procedimiento para la realización de este modelo y los parámetros a determinar son los mismos. La diferencia está dada por la utilización de la variable intensidad en lugar de la elevación. Para las demás variables se utilizaron los mismos parámetros. Con esto se generó un modelo de intensidad para cada zona de estudio

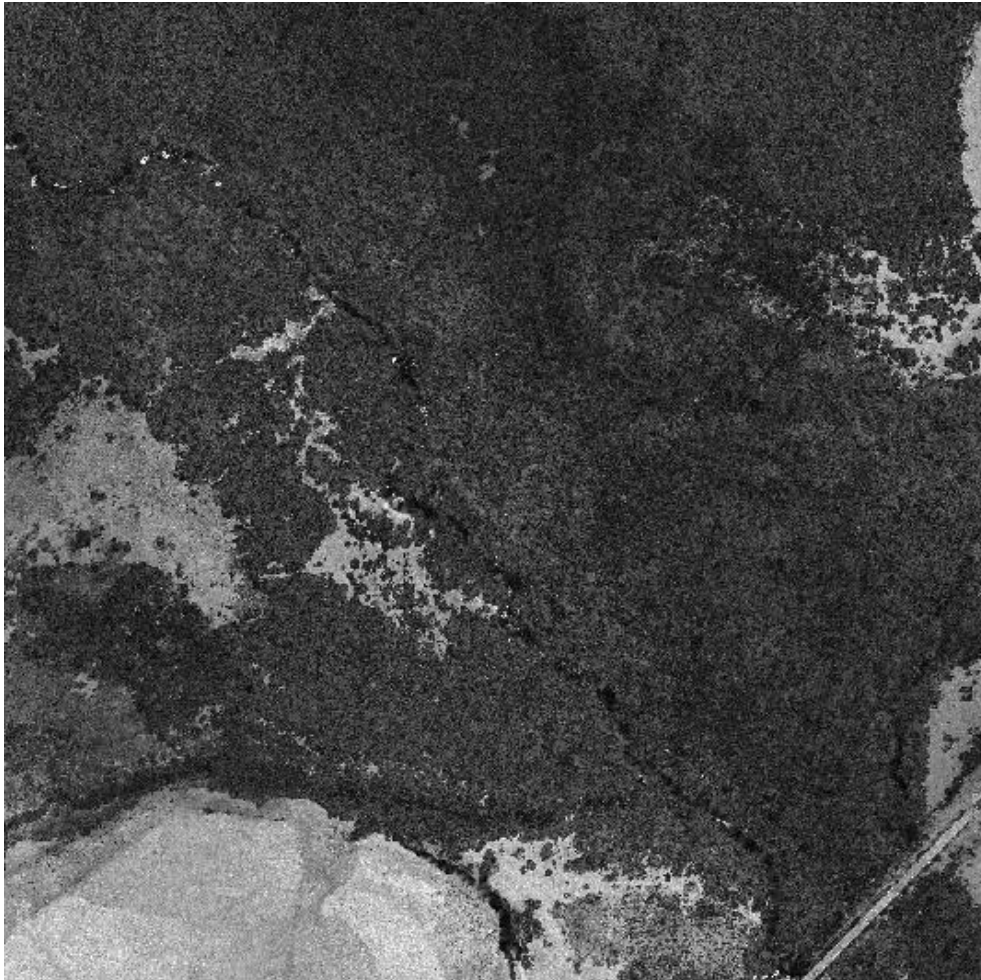


Imagen 40 – Modelo de intensidad / Fuente propia

Otro de los modelos que es posible realizar con esos datos es el modelo de densidad. Este, a diferencia de los demás, se realiza con la herramienta “Estadísticas de puntos LAS como raster” la cual crea un ráster en el cual los valores de celda reflejan información estadística sobre las mediciones de los archivos “las”. La información puede ser de distintos tipos sin embargo para este caso lo que se quiere es determinar la densidad por lo que se usó la opción “Point count” dentro de los métodos.

Este método en cada celda ráster, compara el número de puntos que están sobre el terreno con el número total de puntos.

Es importante definir un tamaño de celda acorde para que el valor sea representativo de la zona por lo que según recomendación del software tiene que ser al menos cuatro veces el espaciado de punto promedio. En este caso el espaciado promedio de puntos es de 0.70m por lo que el mínimo valor a elegir sería de 2.8. En este caso se optó por elegir un valor de 4 para definir el tamaño de celda, de modo de asegurar una mayor cantidad de puntos en cada celda.

En este caso era posible generar un modelo de densidad a partir de un Dataset que contuviera la totalidad de las zonas ya que no asigna valores donde no hay puntos mientras que en los otros casos se generaba una interpolación errónea a los lados de la zona.

A continuación se muestra una parte del modelo de densidad obtenido.



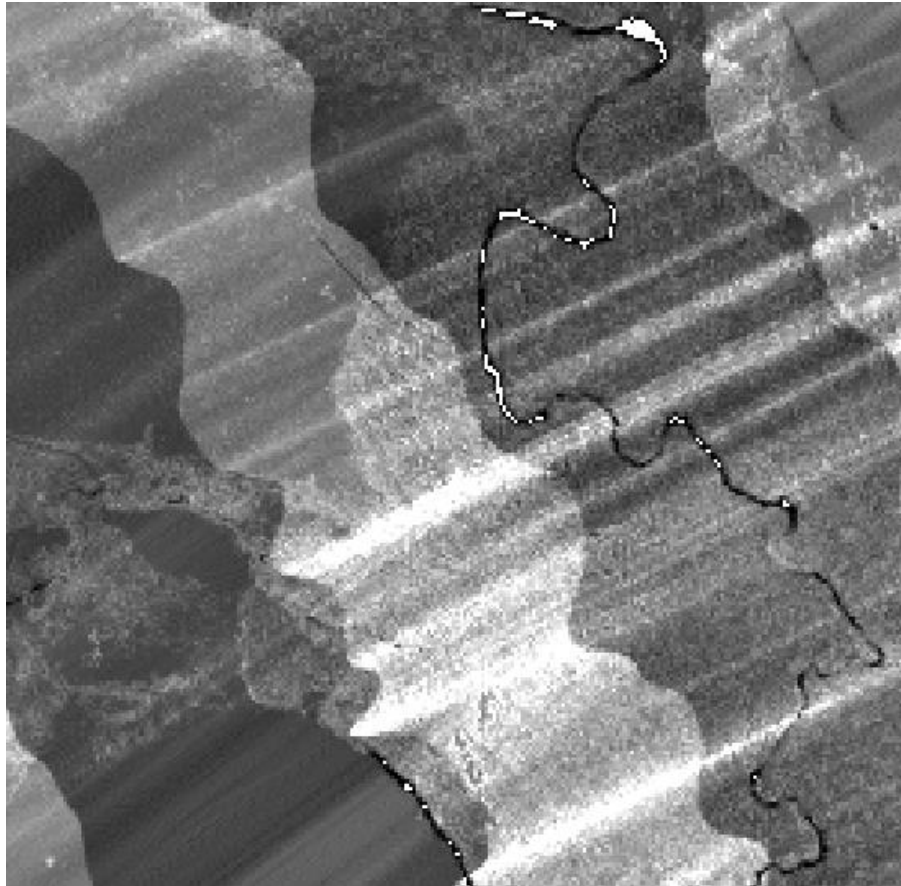


Imagen 41 – Modelo de densidad / Fuente propia

Una vez que se obtuvieron los dos modelos, a la capa de puntos generada a partir del ráster que contenía los píxeles con alturas superiores a la altura límite, se le asignaron los valores de los modelos.

Para esto, con la herramienta “Extraer valores según puntos” de Arcgis se generaron dos capas nuevas de puntos, una contenía los valores de altura y de densidad y la otra los valores de altura y de intensidad ya que el programa no permite aplicar la herramienta a una capa generada por la misma. Para utilizar esta herramienta simplemente se debe seleccionar la



capa de puntos a las que se les quiere asignar el valor y la capa ráster de la cual se va a extraer el valor.

Una vez generadas las dos capas de puntos se procedió a unir las tablas de atributos, para poder tener las 3 variables en una misma entidad.

Para unir las tablas se utilizó la herramienta “Join” y como se utilizó la misma capa de puntos de partida para extraer valores de los modelos. Se utilizó el campo “FID” para la unión ya que es la misma en ambas capas.

FID	Shape *	POINTID *	GRID_CODE	valor densidad	valor intensida
0	Point	1	12,189812	40	18,336378
1	Point	2	12,067583	51	18,336378
2	Point	3	11,417213	40	21,640295
3	Point	4	11,305536	43	18,205854
4	Point	5	11,365675	48	17,382072
5	Point	6	11,505714	48	17,382072
6	Point	7	11,329514	36	18,205854
7	Point	8	11,920002	36	18,205854
8	Point	9	11,819271	41	18,889023
9	Point	10	11,473999	36	18,205854
10	Point	11	11,682499	36	18,205854
11	Point	12	11,86327	36	18,205854
12	Point	13	11,396519	41	18,889023
13	Point	14	11,352858	32	21,972198
14	Point	15	11,368572	37	19,646322
15	Point	16	11,359943	37	19,646322
16	Point	17	11,46014	34	19,646322
17	Point	18	11,590237	37	19,646322
18	Point	19	11,612638	37	19,646322
19	Point	20	11,598707	35	16,69799
20	Point	21	11,334286	34	19,646322
21	Point	22	11,461269	37	19,646322
22	Point	23	11,80316	35	16,69799
23	Point	24	11,504297	35	16,69799
24	Point	25	12,204931	34	19,646322
25	Point	26	11,85648	34	19,646322
26	Point	27	11,685688	37	19,646322
27	Point	28	11,402822	37	19,646322
28	Point	29	11,60342	38	16,69799
29	Point	30	11,766209	40	19,646322
30	Point	31	11,466206	38	16,69799

Imagen 42 - Tabla de atributos de la capa de puntos / Fuente propia

## 10.6 Visita a las zonas estudiadas

### 10.6.1 Planificación del viaje a Treinta y Tres

Una vez seleccionadas las zonas más altas o más destacadas, procesadas en los modelos ráster (a partir de los datos LiDAR), se debió comenzar con la planificación para visitar la zona de estudio y poder llegar a esas zonas para ver en primera persona qué hay.

Esta es una etapa fundamental en el proceso del trabajo ya que a partir de esto es posible analizar, obtener conclusiones y poder comparar la realidad con los modelos obtenidos a partir del relevamiento LiDAR.

Las zonas seleccionadas para visitar fueron un total de diez. De todas formas, hay zonas que fueron más prioritarias para visitar que otras, ya sea por la altura o por la zona en cuanto a diámetro que abarca.

La idea primaria fue realizar la visita en dos jornadas, pero luego se terminó realizando solamente en una.

Para lograr hacer esto fue necesario armar una logística, la cual incluía contacto con los propietarios de los predios en los cuales se ubicaban las zonas, equipamiento técnico, transporte, alojamiento, etc.

Lo más importante en esta etapa y lo que insumió más tiempo fue poder contactarnos con los propietarios de los padrones involucrados para coordinar y asegurarnos de que íbamos a poder ingresar.

Los padrones rurales afectados por las zonas son seis, y sus números son: 1815, 6030, 8635, 8828, 8829 y 9093.

Una ayuda de gran importancia que tuvimos fue el contacto con el Ing. Agrimensor Miguel de Castro, radicado en la ciudad de Treinta y Tres. Este contacto lo hicimos gracias al docente del Instituto de Agrimensura Ing. Agrim. Edison Rosas.

Se realizó entonces, el contacto con el Agrimensor De Castro, quien nos atendió con gran amabilidad y disposición para ayudarnos en todo lo que sea necesario. Se le informó cuales eran los padrones involucrados y a partir de esto nos facilitó los teléfonos de los propietarios o encargados de los campos. Se puso en contacto con ellos explicándoles nuestro trabajo y solicitando permisos para poder ingresar. Así mismo, nosotros nos contactamos con los propietarios y/o encargados y nos manifestaron su total disponibilidad para poder hacer nuestro trabajo.

Una vez que nos aseguramos esto, comenzamos a preparar el equipo GPS cartográfico que llevaríamos para ingresar y llegar a las zonas. Le cargamos los shapes de las zonas a visitar y también las posibles vías de acceso y caminos por los cuales ingresaríamos. Este equipo fue fundamental para llegar a las zonas de forma precisa y no perdernos dentro del bosque. El transporte y el combustible no fue gran problema, mientras que el alojamiento fue brindado por Miguel de Castro que es el Coordinador de la Sede de Treinta y Tres de la Comisión Laguna Merín. Una vez que llegamos a la ciudad de Treinta y Tres nos encontramos con Miguel, en dicha sede, y tuvimos una reunión de planificación, más que

nada para ver y definir los lugares y caminos por los cuales ingresaríamos, ya que él conoce muy bien la zona.

### **10.6.2 Reconocimiento de las zonas**

La visita a campo tuvo una duración aproximada de 8 horas y se pudo acceder a un total de 4 zonas de las 10 zonas, otra de las zonas, si bien no se tuvo un acceso directo a la zona, se pudo visualizar el tipo de árbol a la distancia mientras que algunas por la densidad del bosque fue imposible tener acceso.

De las zonas visitadas en ningún caso se trataba de las especies buscadas, a excepción de una de las zonas donde se encontró ligustro pero no tenía una altura que pudiera ser detectada y los árboles que fueron detectados eran autóctonos.

Además de las zonas a visitar se realizó el recorrido entre ellas, siempre que fue posible, por dentro del bosque de forma que se pudieran detectar, en caso de existir, zonas que no fueran detectadas por la metodología pero que tuvieran especies invasoras.

Cabe destacar que el GPS cartográfico usado no perdió la señal en casi ningún momento del día, más aún cuando estábamos dentro del denso bosque. Además, para tomar registros fotográficos usamos un celular de gama media/alta con el cual pudimos sacar fotos con buena resolución.

Se recorrieron aproximadamente 5 kms dentro del bosque en distintas zonas del mismo como se puede ver a continuación.



Imagen 43: Recorrido realizado por el bosque nativo / Fuente propia

Solo en dos puntos fueron encontradas especies exóticas, uno fue el Ligustro ya mencionado y el otro Morera, y en ninguno de los casos los

árboles alcanzaban alturas significativas que posibilitaran la detección de las mismas por altura.

## 11. RESULTADOS

---

### 11.1 Resultados del procesamiento

En este capítulo, y como primer punto, se presentarán los resultados obtenidos del procesamiento de la información base LiDAR. Los resultados son modelos ráster, específicamente se mostrarán los *modelos digitales de alturas* (“MDA”) sobre los cuales se han tomado y seleccionado las potenciales zonas invadidas, y por tanto, las zonas a visitar en campo. Estos modelos tratan de reflejar la altura de los árboles, a través de los valores de los píxeles, siendo el valor cero correspondiente al suelo. Como se explica en la metodología, este modelo (“MDA”) se deriva de realizar operaciones de resta entre los MDS y los MDE, generados previamente. Los tamaños de los píxeles, al igual que los modelos previos, son de 80cm x 80cm.

Como se ha dicho anteriormente, las zonas o bloques seleccionados del vuelo LiDAR son nueve. A continuación se mostrarán los resultados para cada uno de estos bloques, así como también la zona en su conjunto.

### **Zonas vistas en conjunto.-**

A continuación se muestran los modelos digitales de altura en su contexto global, al norte de la ciudad de Vergara. Se aprecian los nueve bloques superpuestos sobre la imagen satelital de la zona. Se observa como los modelos (cuadrados), notados con un color verde que se distingue de la imagen satelital, pertenecen e incluyen los bosques ribereños del Arroyo Parao.





Imagen 44: Modelos de altura sobre imagen satelital / Fuente Propia

A continuación, se muestran algunos modelos (los de más al norte) con el fin de comparar como se ven con respecto a las imágenes satelitales.





Imagen 45: Modelos del "norte" (6 cuadrados) / Fuente propia



Imagen 46: Modelos del "norte" (4 bloques faltantes) / Fuente propia

De esta forma se puede apreciar como los modelos se asemejan de gran forma a la realidad.

Este resultado obtenido es importante ya que permite continuar en la toma de decisiones y poder detectar y seleccionar zonas “altas” y potencialmente invadidas, con un margen de error reducido.



Imagen 47: Modelos del “sur” (3 bloques) / fuente propia

Al comparar las imágenes satelitales con los *modelos de alturas* superpuestos, se puede observar que existe una coherencia y una continuidad entre los resultados de los modelos y la realidad.

Estos nueve bloques de archivos procesados que dan como resultados modelos digitales de altura tienen como principal atributo, y reflejado en los valores de los píxeles resultantes, diferentes alturas, siempre identificando al suelo con valor cero. Los valores máximos van del entorno de los 13 metros hasta los 29 metros aproximadamente.

A continuación se muestran los rangos de valores de los nueve archivos:

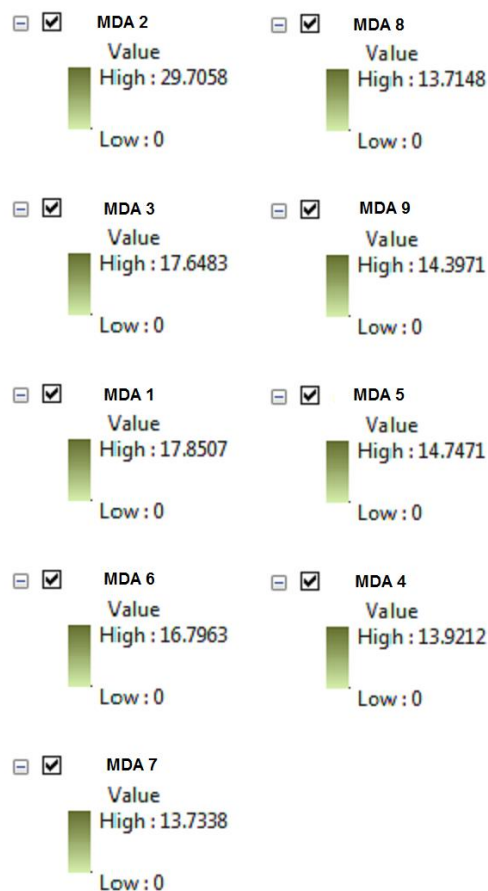


Imagen 48: Valores de alturas para cada archivo procesado / Fuente propia



Los archivos “.las” (cuadrados de 1km de lado) que son la información base LiDAR, están registrados con un formato de nombre tal que se identifican de la siguiente forma: “1km\_xxx\_xxxx”.

### Archivo “1km\_783\_6359” (MDA 1)

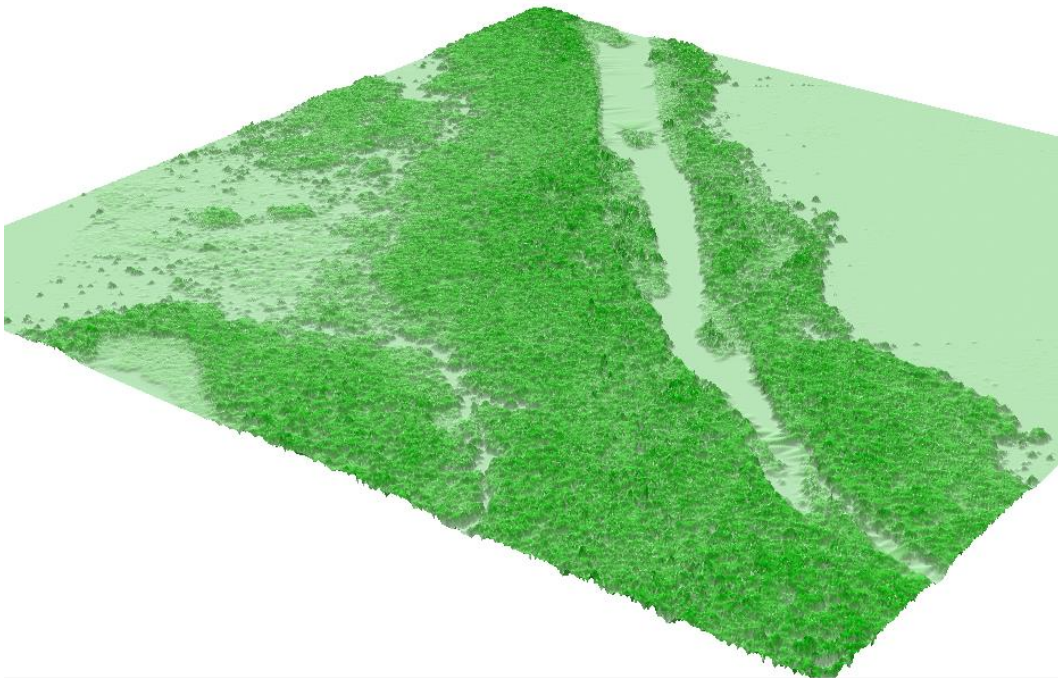


Imagen 49: Modelo digital de altura 1 / Fuente propia

En este archivo procesado seleccionamos una zona de interés o zona destacada por su altura, a ser evaluada para la visita a campo. La altura máxima en este archivo es de aproximadamente 18 metros.



Imagen 50: Modelo de altura 1 con zona de interés / Fuente propia

### Archivo "1km\_784\_6353" (MDA 2)

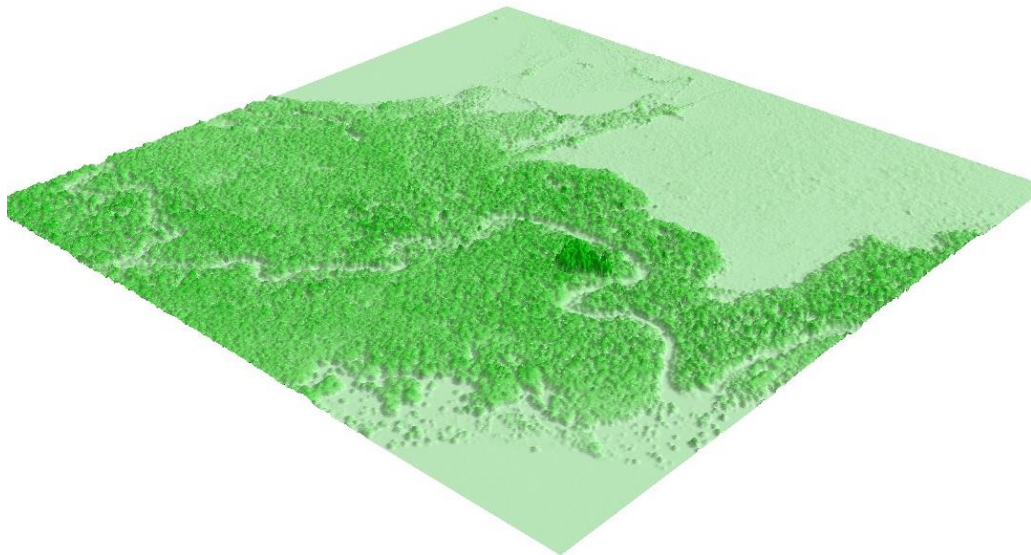


Imagen 51: Modelo digital de altura 2 / Fuente propia

En este archivo procesado seleccionamos una zona de interés o zona muy destacada por su altura, a ser evaluada para la visita a campo. La altura máxima en este archivo es de aproximadamente 29 metros. Se muestra a continuación.

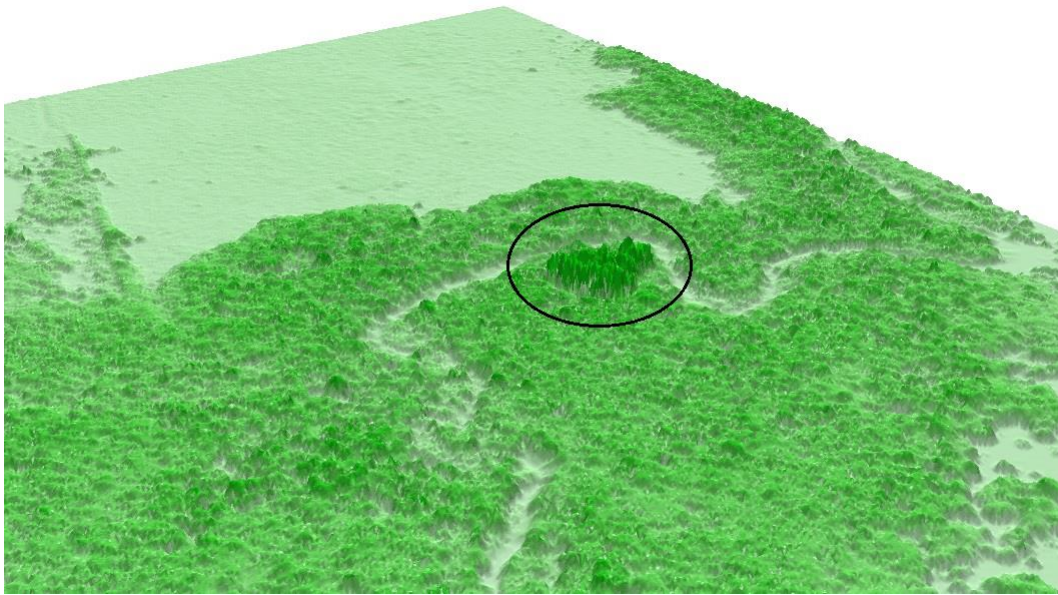


Imagen 52: Modelo digital de altura 2 – Zona de interés / Fuente propia



### Archivo "1km\_784\_6354" (MDA 3)

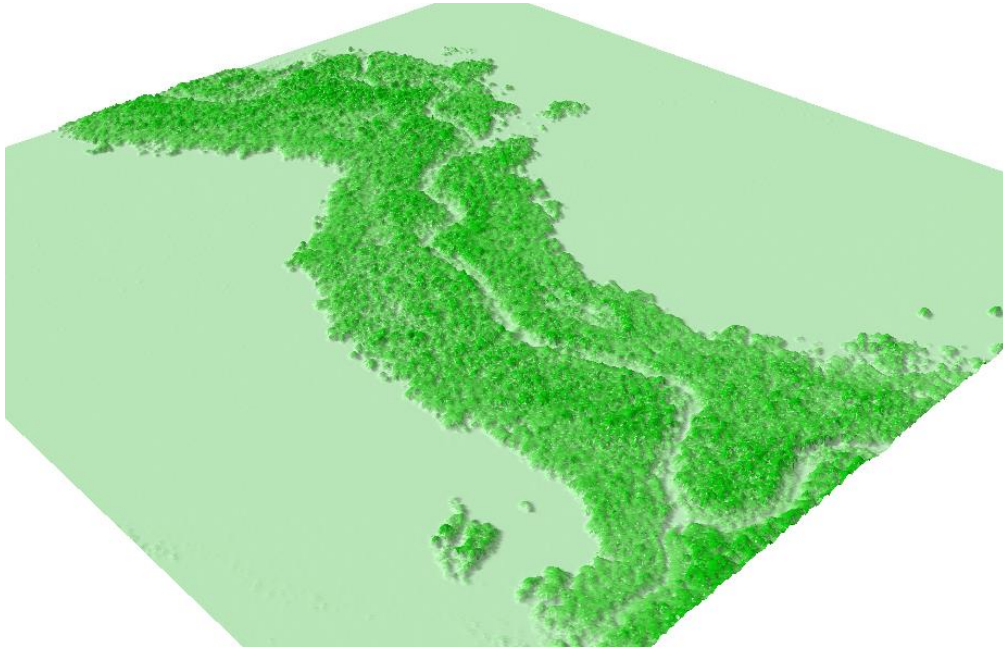


Imagen 53: Modelo digital de altura 3 / Fuente propia

En este archivo procesado seleccionamos una zona de interés o zona destacada por su altura, a ser evaluada para la visita a campo. La altura máxima en este archivo es de aproximadamente 17 metros. Se muestra a continuación:



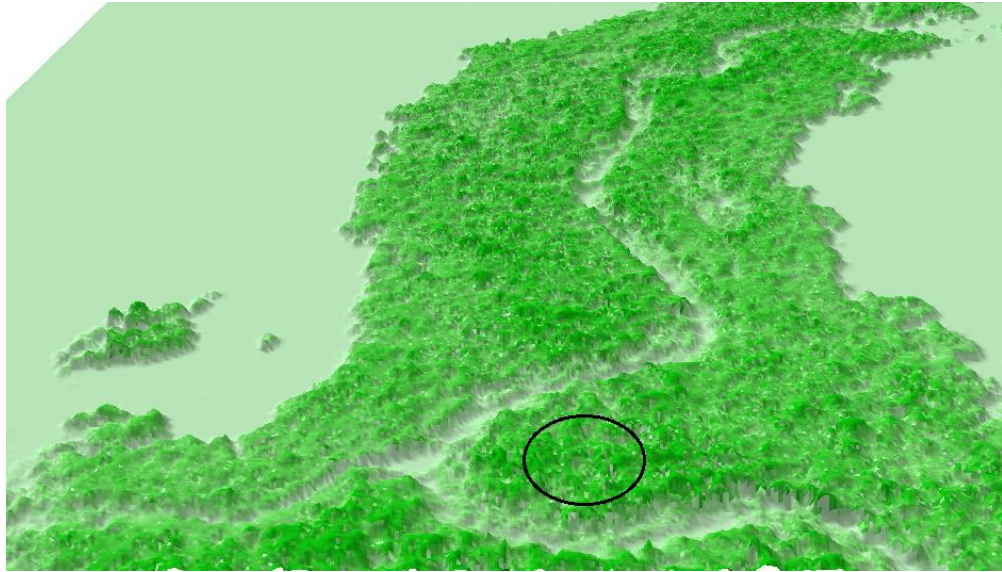


Imagen 54: Modelo de altura – Zona de interés / Fuente propia

#### Archivo “1km\_784\_6356” (MDA 4)

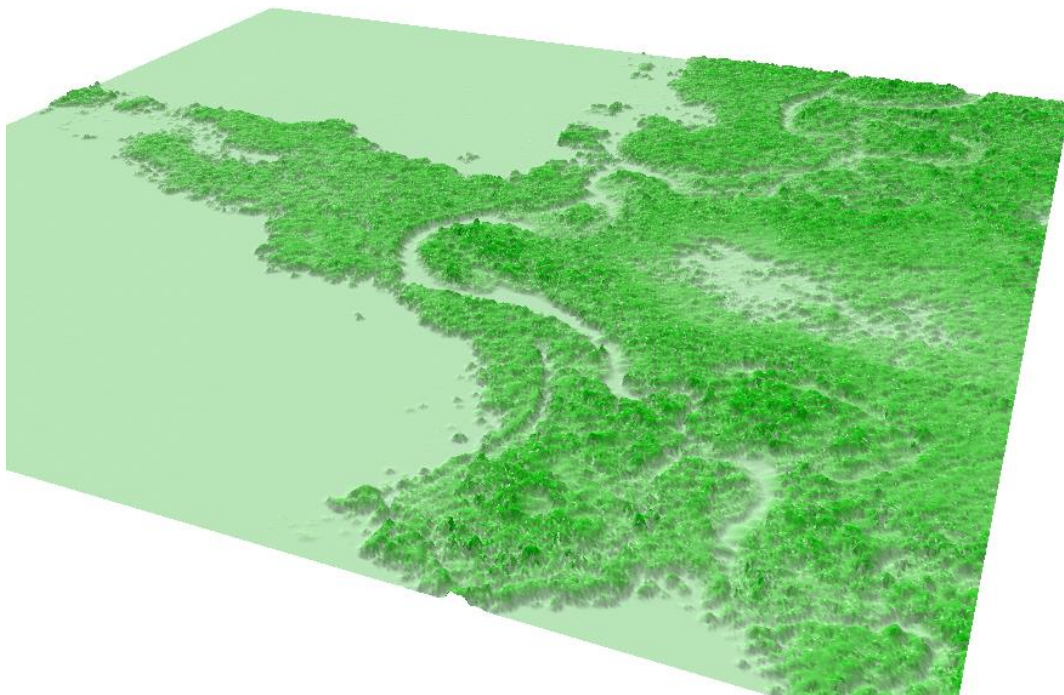


Imagen 55: Modelo digital de altura 4 / Fuente propia

En esta zona no seleccionamos zona de interés alguna como para ser evaluada y visitada en campo. La altura máxima detectada en el proceso de este archivo es de casi 14 metros.

### **Archivo “1km\_784\_6357” (MDA 5)**

En este archivo procesado seleccionamos una zona de interés o zona destacada por su altura, a ser evaluada para la visita a campo. La altura máxima en este archivo es de aproximadamente 15 metros. Se observa a continuación:

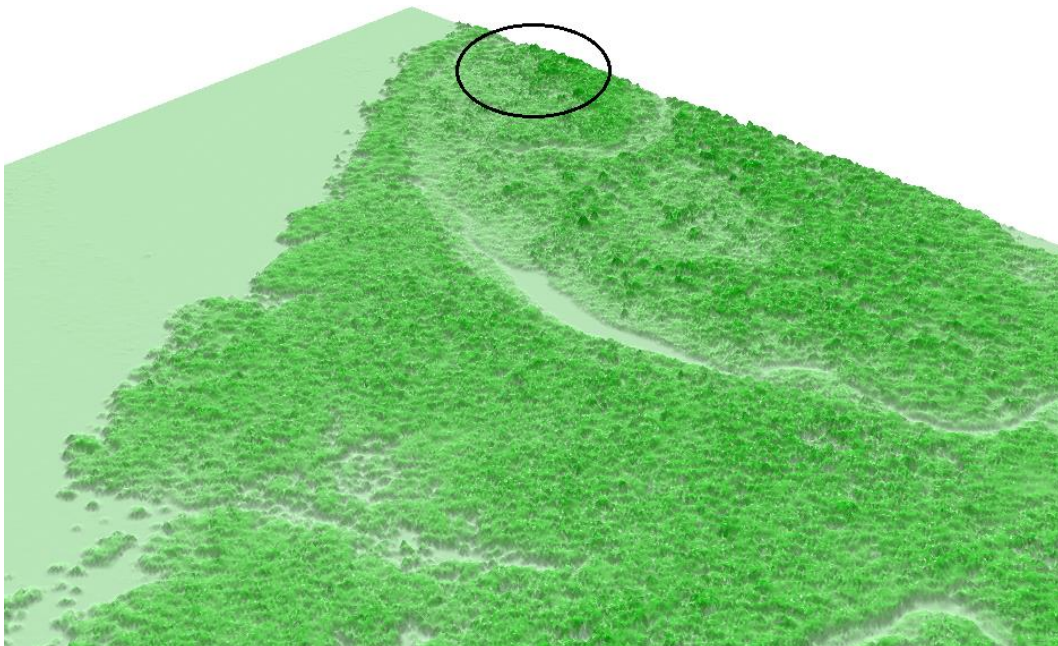


Imagen 56: Modelo de altura 5 – Zona de interés / Fuente propia



**Archivo “1km\_784\_6358” (MDA 6)**

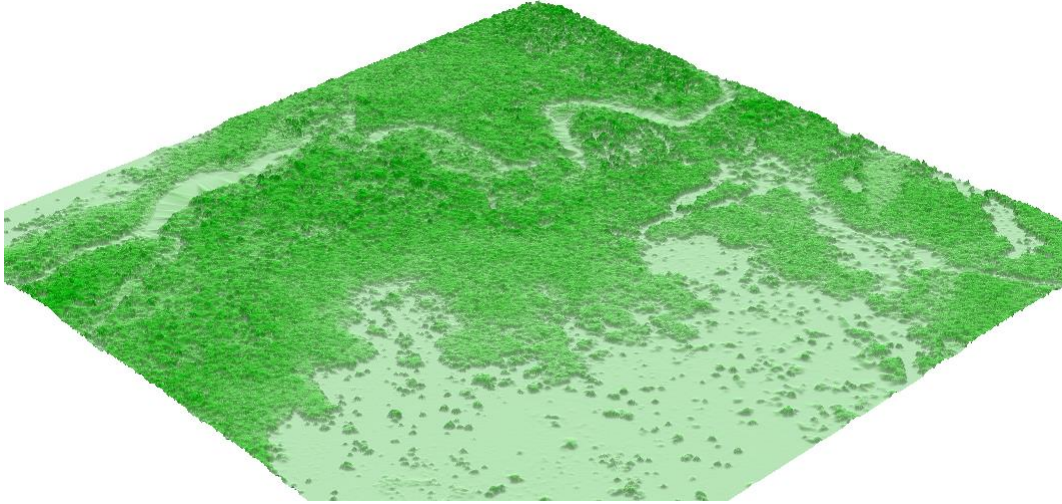


Imagen 57: Modelo digital de altura 6 / Fuente propia

En este archivo procesado seleccionamos dos zonas potenciales de invasión o zonas destacadas por su altura, a ser evaluadas para la visita a campo. La altura máxima en este archivo es de aproximadamente 17 metros. A continuación se observan las zonas:

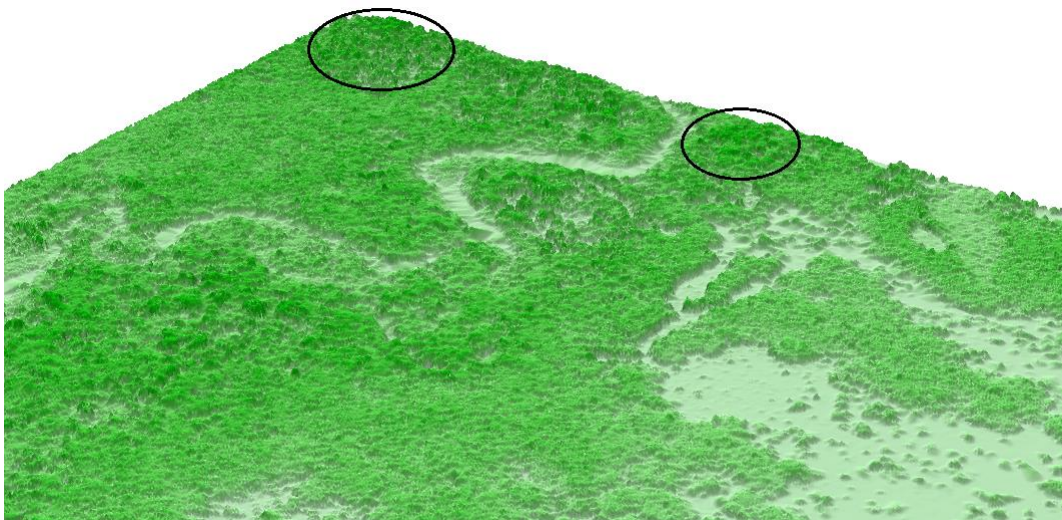


Imagen 58: Modelo de altura 6 – Zonas de interés / Fuente propia

### Archivo "1km\_785\_6352" (MDA 7)

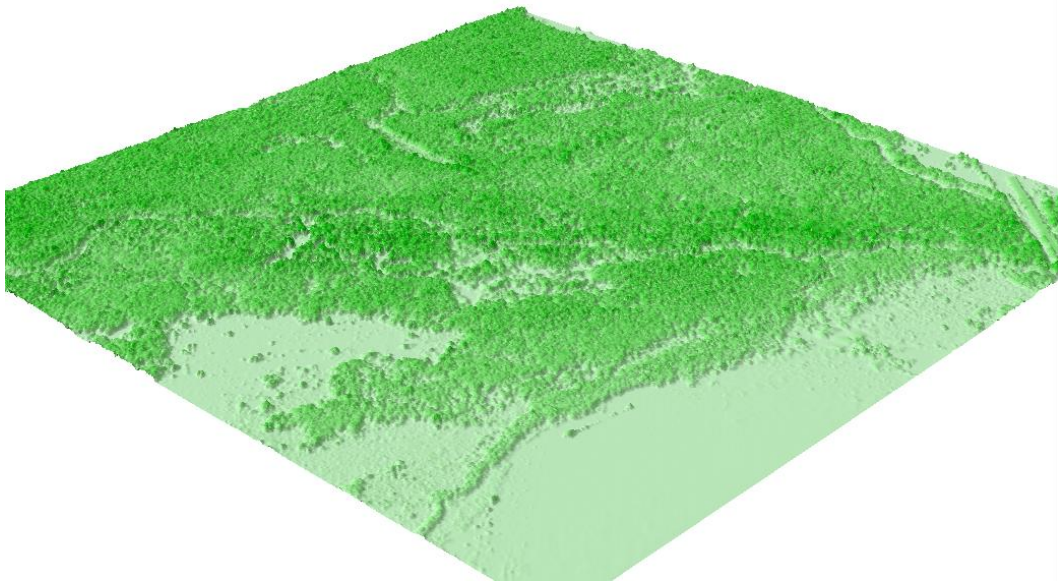


Imagen 59: Modelo digital de altura 7 / Fuente propia

En esta zona no seleccionamos zona de interés alguna como para ser evaluada y visitada en campo. La altura máxima detectada en el proceso de este archivo es de casi 14 metros.



Archivo "1km\_785\_6356" (MDA 8)

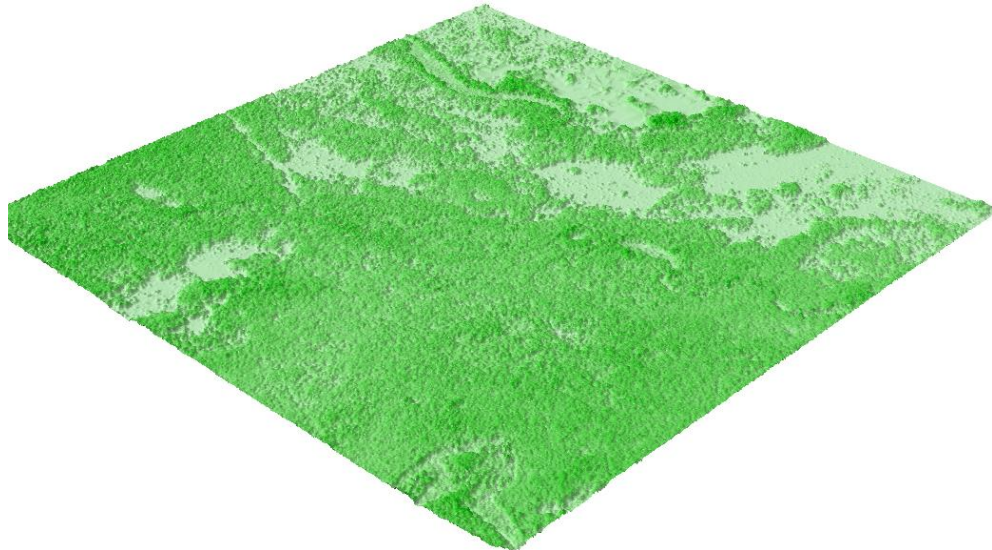


Imagen 60: Modelo digital de altura 8 / Fuente propia

En este archivo procesado seleccionamos una zona de interés o zona destacada por su altura, a ser evaluada para la visita a campo. La altura máxima en este archivo es de aproximadamente 14 metros. Se muestra a continuación:

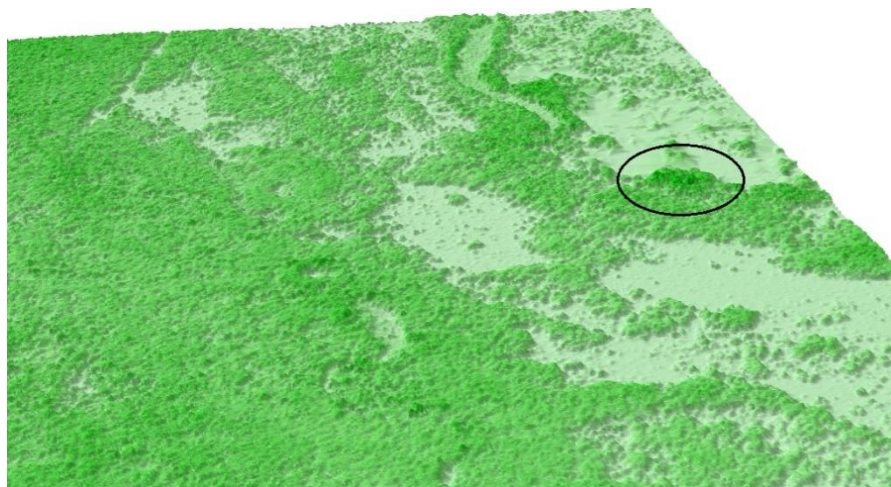


Imagen 61: Modelo digital de altura 8 – Zona de interés / Fuente propia

### Archivo "1km\_785\_6357" (MDA 9)

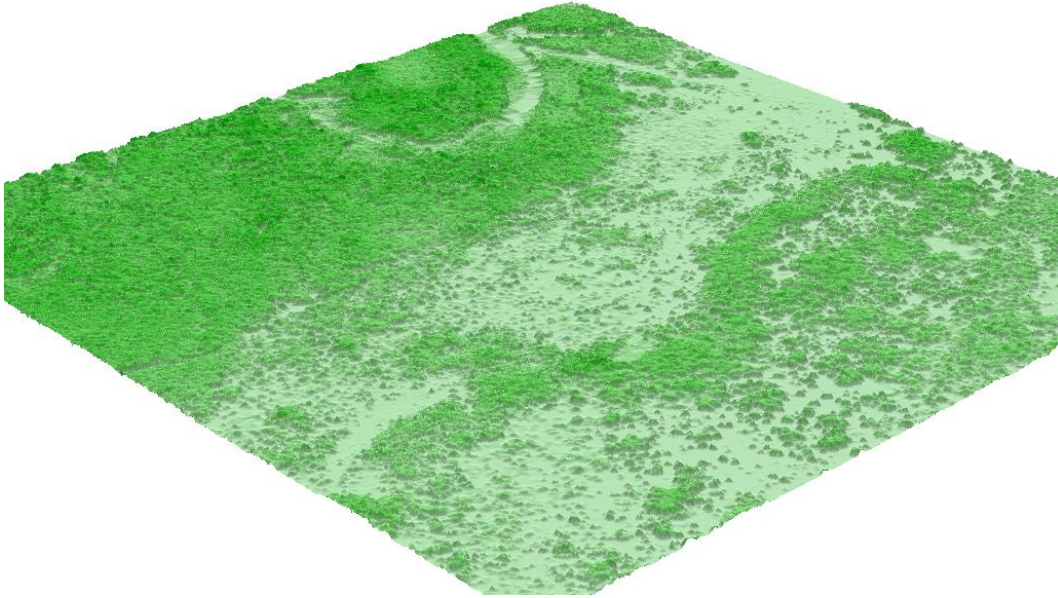


Imagen 62: Modelo digital de altura 9 / Fuente propia

En esta zona no seleccionamos zona de interés alguna como para ser evaluada y visitada en campo. La altura máxima detectada en el proceso de este archivo es de aproximadamente 14 metros.

A continuación se muestran imágenes globales de los modelos obtenidos en las cuales se señalan las zonas seleccionadas para la visita a campo

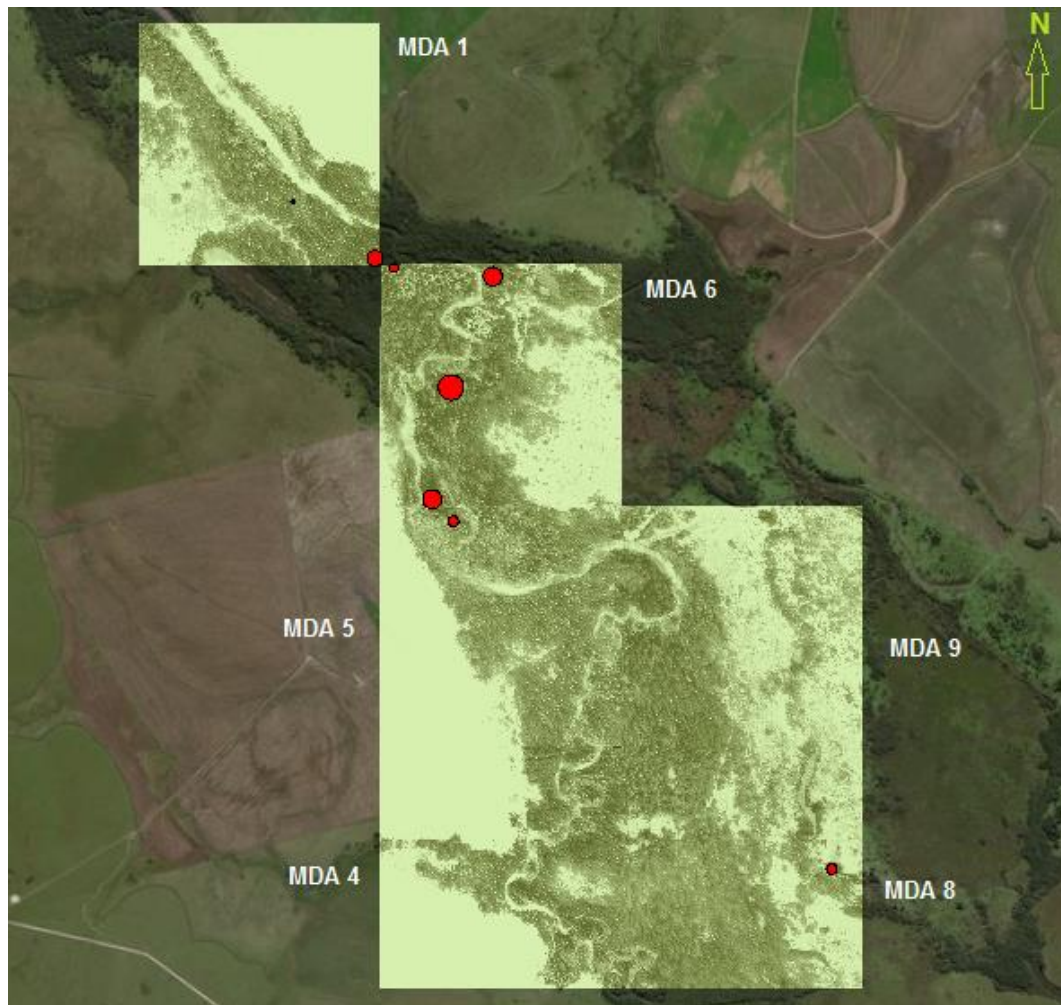


Imagen 63: Zonas seleccionadas (al norte) / Fuente propia





Imagen 64: Zonas seleccionadas (al sur) / Fuente propia

## 11.2 Resultados de la visita a campo

Las zonas potenciales, como se ha mencionado, son aquellas zonas obtenidas de los modelos, que se destacan por su altura con respecto al dosel promedio del bosque nativo ribereño del arroyo Parao. Esto no quiere decir necesariamente que en las zonas se encuentren especies exóticas invasoras, sino que podría haber especies nativas adultas que sobrepasan la altura promedio del bosque, o también especies exóticas de gran altura pero que no se consideran invasivas. Para verificar esto es de gran importancia llegar a estas zonas.

Una vez en el lugar y con la ayuda del GPS de navegación iniciamos la recorrida por el bosque nativo, comenzado por aquellas zonas prioritarias o que considerábamos más importantes ver como primeras opciones, tratando de llegar a la mayoría de las zonas elegidas.

Hubo zonas en las cuales pudimos acceder de forma completa, es decir que llegamos hasta los mismos árboles. Mientras que, hubo otras zonas a las cuales no pudimos acceder tan cerca debido a ciertos factores como la densidad del bosque, el recorrido del arroyo o por la presencia de lagunas en las inmediaciones. De todas formas, pudimos fotografiar algunas de estas zonas desde una distancia aproximada de 100 o 150 metros.

A continuación se describen las zonas visitadas, mostrando las fotografías tomadas así como la zona específica en los modelos ráster. Además se muestran las zonas de forma global, en las cuales se pueden observar puntos (color verde) registrados con el GPS cartográfico durante la visita.

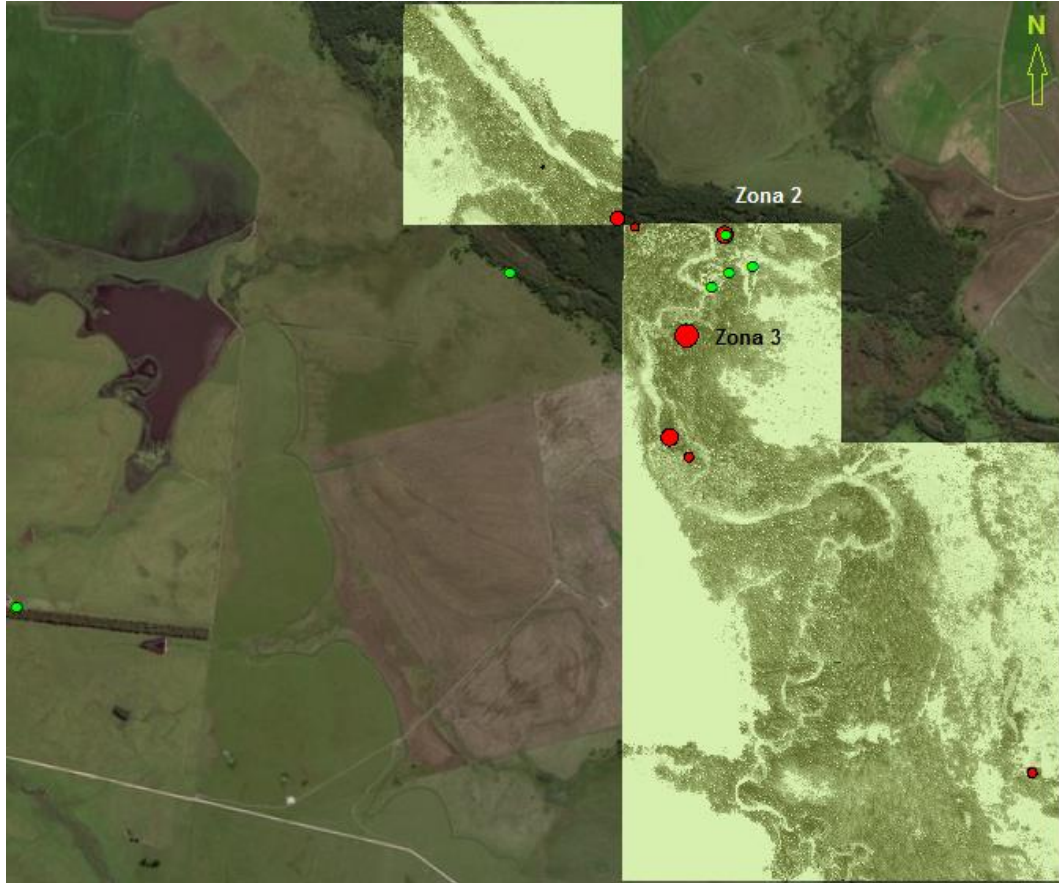


Imagen 65: Registro de las zonas (norte) / Fuente propia

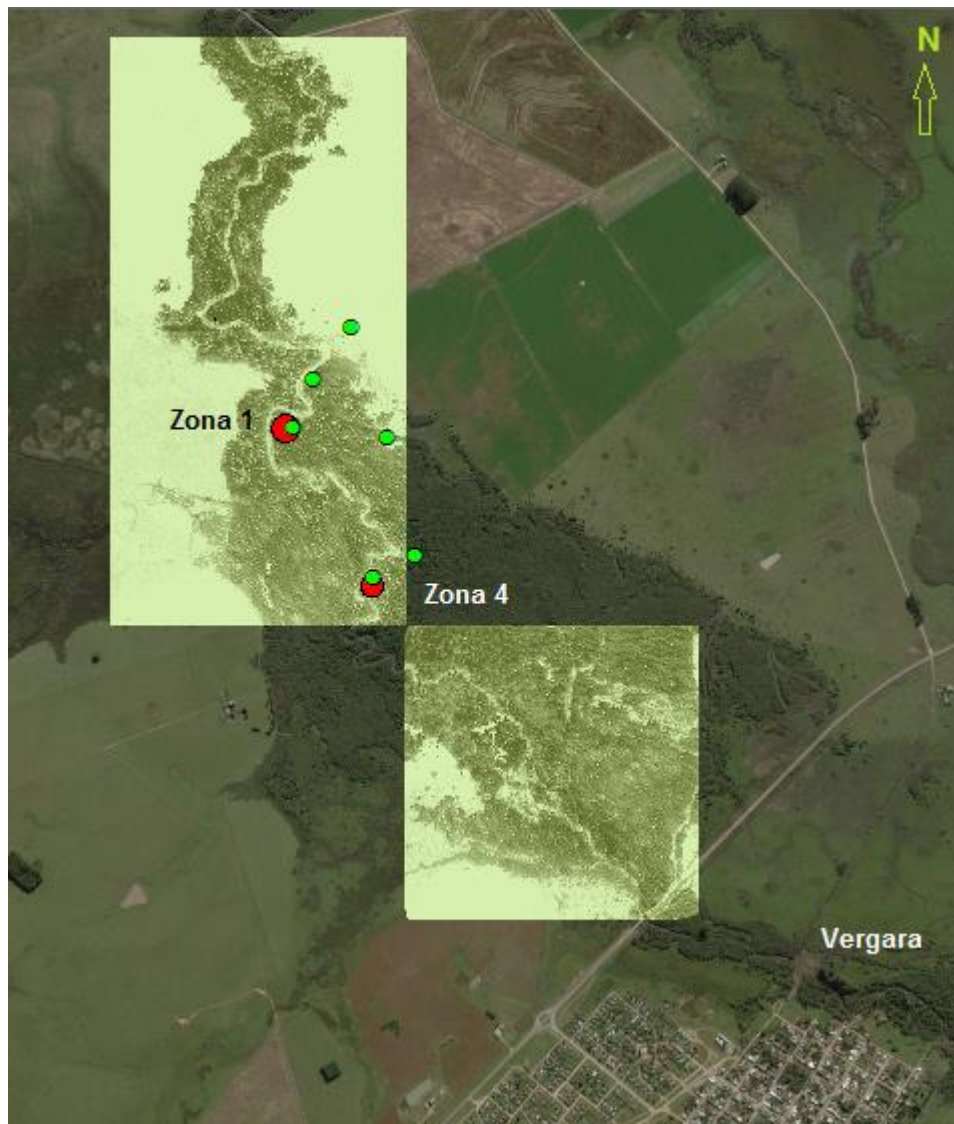


Imagen 66: Registro de las zonas (sur) / Fuente propia

### **ZONA 1**

Esta zona fue la primera visitada y es la zona que en los modelos mostró las alturas mayores de toda la zona estudiada, aproximadamente 27 metros.





Imagen 67: Zona 1 / Fuente propia



Imagen 68: Zona 1 / Fuente propia



Imagen 69: Zona 1 / Fuente propia



Imagen 70: Zona 1 / Fuente propia

Esta es una zona a la cual pudimos acceder hasta debajo de los propios árboles. En las imágenes 67, 68 y 69 se pueden apreciar la presencia de varios árboles y de gran altura, corroborando lo que mostraban los modelos, (zona con alturas de hasta 27 metros). En la imagen 70 se aprecia, a la lejanía, cuando aún no estábamos dentro del bosque, ésta zona que se destaca visualmente a unos cientos de metros.

Una vez allí pudimos ver que se trataban de un grupo de eucaliptos, que si bien es una especie exótica, no se la considera invasiva ni perjudicial en estos bosques. Claramente, no encontramos las especies invasoras descritas anteriormente, como la Gleditsia o el Ligustro.

En las siguientes imágenes se muestran perfiles de los puntos LiDAR de esta zona:

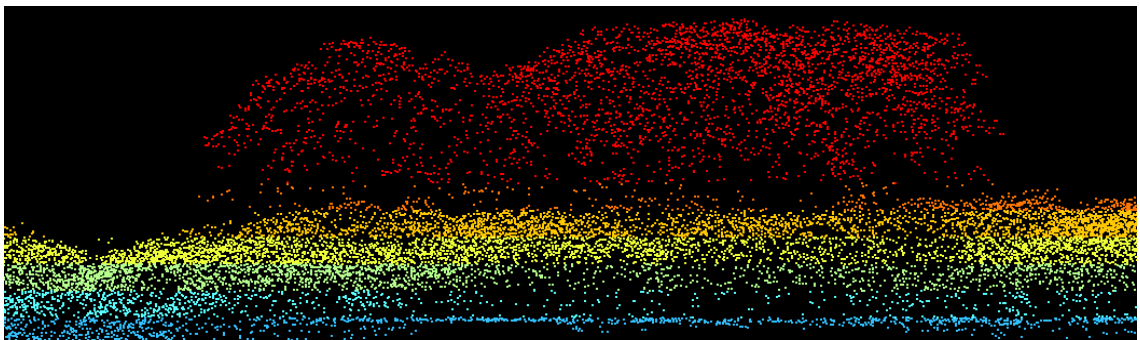


Imagen 71: Perfil de la zona 1 – Eucaliptus / Fuente propia

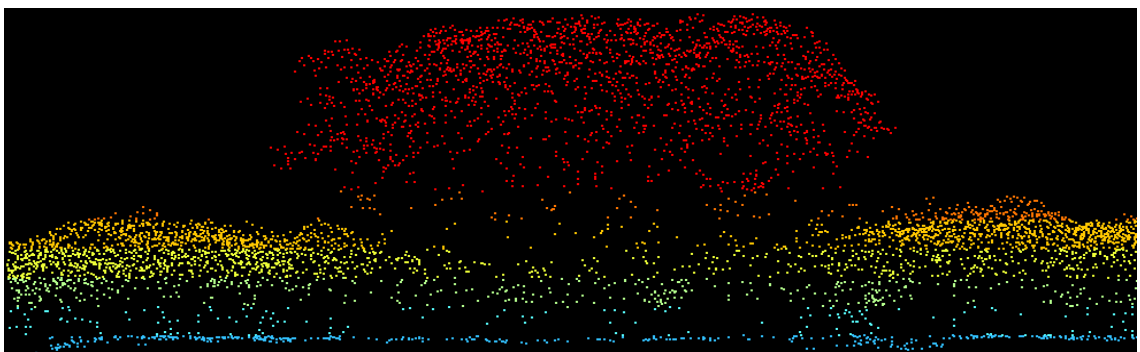


Imagen 72: Perfil de la zona 1 de eucaliptus desde otro ángulo / Fuente propia



## **ZONA 2**

A esta zona también pudimos acceder hasta las inmediaciones de los árboles y ver la zona. Pudimos comprobar la presencia de árboles altos tal como lo vimos en los modelos ráster y confirmar que la zona se destaca en altura por sobre encima del dosel del bosque. Esto se puede apreciar en los perfiles de los puntos LAS.

Pudimos afirmar que las especies presentes que se destacan en altura no son de las invasoras como la Gleditsia o el Ligustro. De todas formas se pudo comprobar la presencia de ejemplares de Ligustro pero no de gran altura, los cuales no son detectables en los modelos. Esto evidencia ciertos problemas de invasión aunque no de gran escala.

A continuación se observan fotos del lugar así como también perfiles del relevamiento LiDAR.



Imagen 73: Zona 2 / Fuente propia

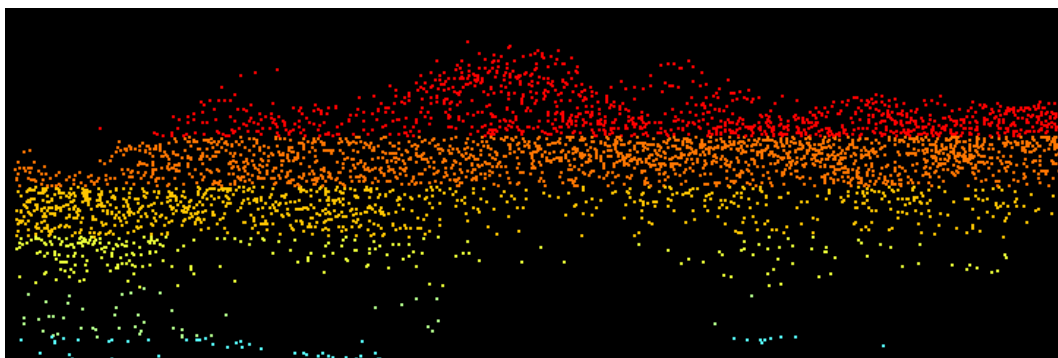


Imagen 74: Perfil LiDAR de la zona 2 / Fuente propia

En esta última imagen se puede apreciar como los pulsos LiDAR no penetran en el bosque formándose una especie de arco sin rebotes del láser.



### ZONA 3



Imagen 75: Vista sin zoom de la zona 3 / Fuente propia

A esta zona no pudimos acceder como en las anteriores. Nos acercamos lo más posible pero estábamos del otro lado del arroyo con respecto a la zona detectada en los modelos.

Esta zona, según los modelos, llega a una altura de aproximadamente a 16 – 17 metros, coherente con lo que se observa in situ.



Imagen 76: Zona 3, con zoom activado en la cámara / Fuente propia

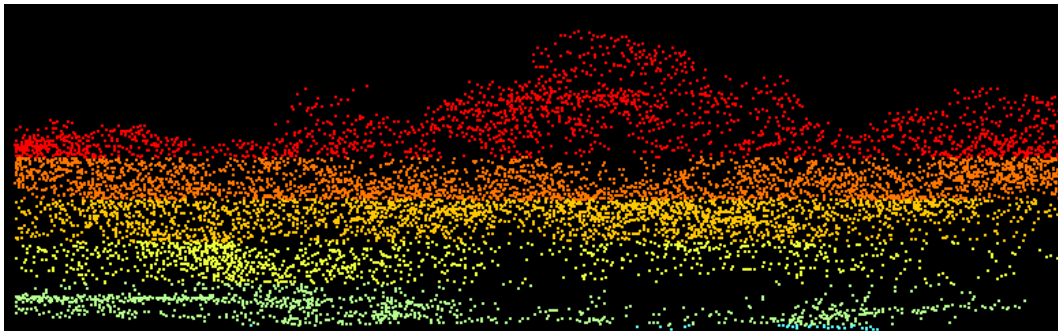


Imagen 77: Perfil LiDAR de la zona 3 / Fuente propia

#### **ZONA 4**

A esta zona llegamos también hasta las cercanías de donde habíamos detectado árboles altos. Una vez en el lugar pudimos observar una serie de árboles adultos que sobrepasan el dosel del bosque nativo y alguno que se destacaba aún más en altura. Una vez más, la especie detectada y registrada no es *Gleditsia* ni tampoco *Ligustro*.



En esta zona las alturas llegan hasta aproximadamente 15 metros.



Imagen 78: Zona 4 / Fuente propia

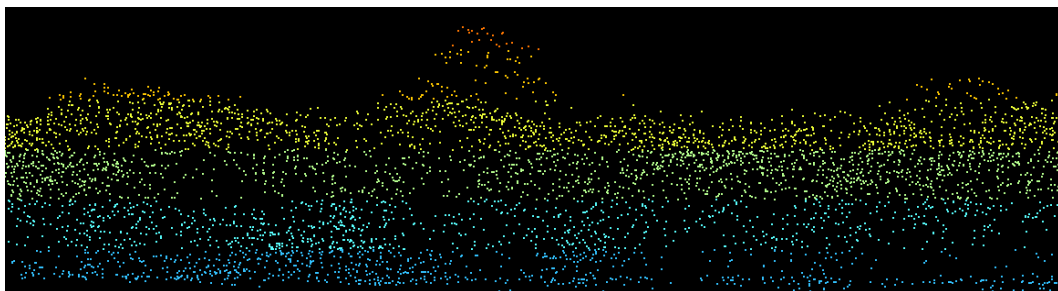


Imagen 79: Perfil LIDAR de la zona 4 / Fuente propia

## ZONAS VARIAS

A continuación se muestran algunas zonas en forma general en las que se detectaron alturas mayores al promedio, como características o patrones que se dan en el bosque nativo.

Estas zonas fueron detectadas en los modelos como puntos o zonas pequeñas, pero que se destacaban por sobre el promedio de alturas del bosque nativo, llegando a los 16 metros aproximadamente. Nos pareció tenerlas en cuenta para ver en campo lo que realmente era. Como se muestra en las imágenes siguientes, estas zonas son palmeras aisladas que se repiten y sobresalen a lo largo de casi todo el bosque.



Imagen 80: Palmeras / Fuente propia





Imagen 81: Palmeras / Fuente propia



Imagen 82: Palmeras / Fuente propia

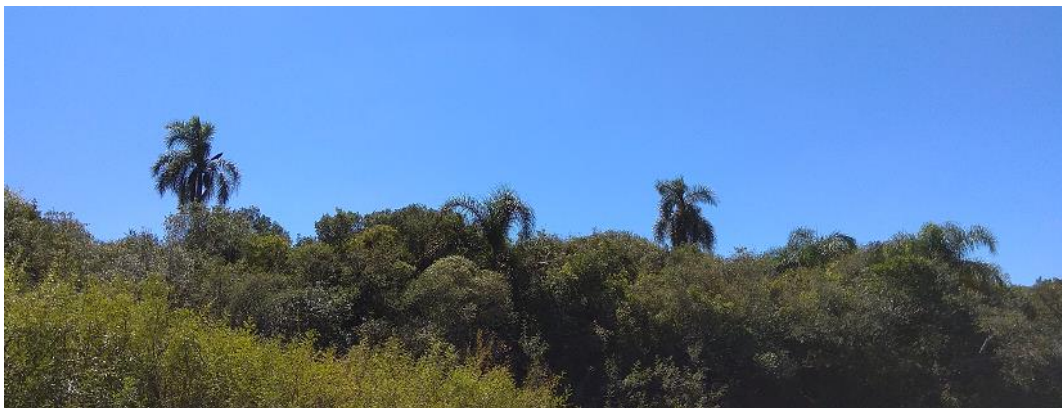


Imagen 83: Palmeras / Fuente propia

A continuación se muestra cómo se ven estos patrones en los perfiles  
LiDAR:

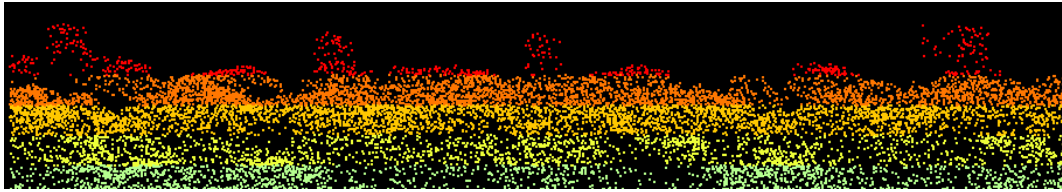


Imagen 84: Perfil LiDAR Palmeras / Fuente propia

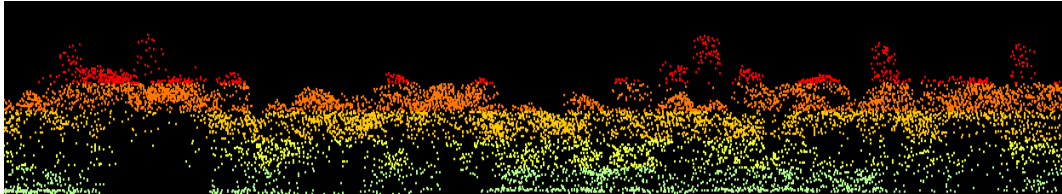


Imagen 85: Perfil LiDAR Palmeras / Fuente propia

A modo ilustrativo se muestran las siguientes imágenes que son del estrato predominante del bosque nativo, cuya altura ronda entre los 9 y 11 metros, y que fue calculada procesando los datos y generando diferentes modelos (proceso descrito en capítulos anteriores).



Imagen 86: Panorámica del bosque nativo sobre Arroyo Parao / Fuente propia

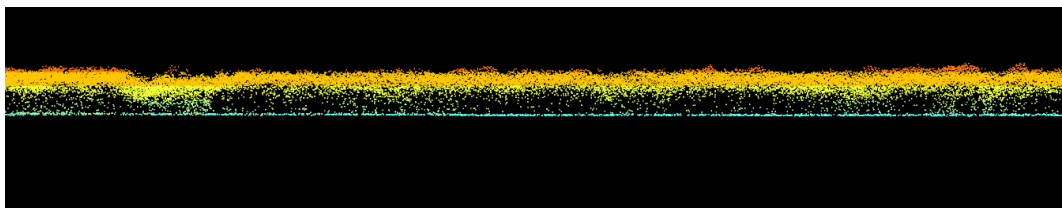


Imagen 87: Perfil LiDAR mostrando el estrato predominante / Fuente propia

## 12. ANÁLISIS GENERAL

---

De los resultados obtenidos se desprende que la metodología funcionó en cuanto a la determinación en los modelos de zonas potencialmente invadidas. Sin embargo, in situ se comprobó que en estas zonas las especies no eran de las consideradas invasoras.

Una de las zonas visitadas, está constituida por eucaliptos, que si bien no es una especie autóctona no está considerada como invasora. Esta zona tenía una altura promedio de 29m (aproximadamente) por lo que excede la altura que alcanzan en promedio las especies que se intentaban identificar. Sin embargo se encontraron otras zonas donde la altura de los árboles promediaba los 15m y se trataba de árboles autóctonos. Se estima que la altura que puede alcanzar el ligustro desarrollado llega hasta 15m por lo que aunque existiera esta especie totalmente desarrollada no podría ser identificada únicamente con la variable altura debiéndose implementar alguna otra técnica complementaria para diferenciarla. En cuanto a la *Gleditsia* se estima que puede llegar a los 20 m de altura por lo que una zona con esta especie en edad adulta no presentaría dificultad en ser detectada por altura. Por esto, sería necesario aplicar la metodología en algún bosque del mismo tipo que sí contara con estas características de la *Gleditsia* para poder afirmarlo.

Por otra parte, se pudo detectar también en campo la presencia de ligustro y morera en algunas zonas. En cuanto al ligustro encontrado, el

mismo no presentaba un nivel de desarrollo tal, que permitiera ser identificado por su altura. Además se pudo observar, en una de las zonas seleccionadas y visitadas, que los árboles que se destacaban por su altura eran especies autóctonas, por lo que se puede afirmar que ésta metodología no puede ser implementada para invasiones poco desarrolladas sino que requiere de un nivel de desarrollo importante de las especies. Otra especie invasora que se encontró fue la morera. Esta especie aunque esté desarrollada no alcanza alturas superiores a las del monte nativo lo que implica que no es una especie que pueda ser detectada con esta metodología.

A continuación, se analizan factores que a nuestro criterio son determinantes para que la metodología sea considerada efectiva:

- Primero, destacar la importancia de los métodos aplicados para generar los modelos, especialmente el modelo digital de elevaciones para el cual se contaba con una densidad de puntos baja en los datos LiDAR. Esto, en comparación con algunos trabajos antecedentes estudiados en los cuales se vio que la densidad de puntos LiDAR con la cual trabajaron estaba entre 4 y 5 puntos por m<sup>2</sup>. Mientras que en este trabajo la densidad es de 1 punto por m<sup>2</sup>.

Para este caso se utilizó el método de interpolación “IDW” y “lineal”.

Una vez en campo se pudo constatar que la topografía del suelo

contaba con pocos cambios bruscos de pendiente o irregularidades importantes, tratándose en general de una superficie llana. Esto implica que la interpolación utilizada fue adecuada para las características del terreno lo que a priori era una suposición y podía llegar a ser incorrecta. La problemática de la representación de la superficie a través de la interpolación está dada porque la baja densidad de puntos implica pérdida de información sobre la superficie pudiéndose generar un modelo que no sea representativo en el cual se perdieran tanto zonas bajas como altas.

La interpolación del modelo de elevación es sumamente importante, dado que afecta directamente al modelo de alturas. Este se genera por la diferencia entre los modelos de superficie y de elevación por lo que, el no tener una buena representación del suelo implica no tener una correcta distribución de alturas. Si en el modelo de superficie existen zonas bajas o altas no representadas, la altura de los árboles sobre estas zonas lleva un error asociado lo que implica que podrían existir zonas detectadas como altas o zonas altas que no fueran detectadas.

- Segundo, la metodología implementada para la determinación de la altura límite. Para esto se decidió aproximar la altura del bosque (como la variable a modelar) con una distribución normal y en base a esto se calculó un límite a partir del cual se consideran las zonas



altas o de interés. Esta aproximación por lo que se pudo constatar en campo fue bastante certera dado que se podía apreciar la diferencia del estrato en las zonas consideradas (teniendo en cuenta el punto mencionado anteriormente). Por lo tanto se podría decir que la distribución de las alturas del bosque modeladas como una *función densidad de distribución normal  $f(x)$*  dio buenos resultados.

Es importante destacar que en ningún caso se evaluaron los errores asociados a los modelos generados y por tanto tampoco fue considerado para la identificación de zonas. Esto se realizó así ya que los errores planimétricos eran inferiores a los 20 cm y lo que se pretendía era buscar una zona probable donde pudieran existir especies invasoras por lo que no era necesaria una ubicación precisa del mismo. Para el caso de la altimetría podría verse como una variable importante sin embargo las especies que se pretendían identificar sobresalían más de 3 m de la altura del bosque nativo por lo que la influencia del error en altura debido a los errores de los modelos no afectaba las determinaciones de las zonas. Aun así, este tema podría analizarse a futuro, evaluándose los errores en los modelos generados y por tanto en las alturas determinadas.

Dado que se presentaba la posibilidad de que existieran especies tanto autóctonas como invasoras con las mismas alturas, se decidió realizar análisis de densidad e intensidad para estas zonas. Debido a que no se

encontraron especies invasoras en campo, este análisis no pudo realizarse por lo que quedará como línea de investigación a futuro.

De todas formas se pueden destacar ciertos aspectos de los modelos de densidad a tener en cuenta al momento de realizarlos.

El modelo de densidad, como se mencionó en el procesamiento, requiere de un tamaño de píxel que sea mayor o igual a 4 veces la distancia entre puntos por lo que para nuestros datos implicaba un tamaño de píxel superior a los 3m aproximadamente. La copa de una *Gleditsia* desarrollada tiene en promedio un diámetro de 10 a 12 m, lo que implica que las mismas puede llegar a ocupar 9 o más píxeles en el modelo de densidad. Esto significa que para esta densidad de puntos se necesita una zona con al menos un árbol desarrollado para poder detectar cambios de comportamiento en el modelo de densidad, y aun así estos píxeles se pueden ver afectados por especies no invasoras de menor altura que lo rodeen. Por otro lado, el ligustro alcanza una copa de 8m de diámetro máximo lo que implica que abarcaría pocos píxeles dentro del modelo (4 píxeles como máximo). Se puede decir sobre este modelo entonces, que si bien podrían notarse diferencias de densidad, las especies invasoras abarcan pocos píxeles y se requiere la presencia de un conjunto de ejemplares para poder realizar un análisis no sesgado, desde este punto de vista, o en su defecto una densidad de puntos mayores en la toma de datos LiDAR. También se debe tener en cuenta que este modelo está afectado por zonas de solapamiento propio del vuelo.

### ***Líneas de investigación a futuro***

- Como primera línea de investigación para futuros trabajos se podría considerar algún otro indicador o función de distribución para modelar las alturas del bosque y así poder contrastar resultados con la distribución normal aplicada en este trabajo.
- Como segundo punto, se podría investigar si las variables intensidad y densidad permiten una identificación de las EEI, a través de modelos digitales, comparando variaciones en las zonas potenciales. A su vez, podrían realizarse modelos de densidad que incluyeran una sola clasificación de puntos (por ejemplo solo puntos correspondientes a primer rebote) o combinaciones de varias clasificaciones.  
  
También considerar lo que refiere al procesamiento de densidad de datos LiDAR para depurar las zonas afectadas por el solapamiento en el modelo digital.
- En tercer lugar, se podría aplicar la tecnología LiDAR para el cálculo de otras variables relativas a los bosques nativos. Por ejemplo: cálculos de biomasa, alturas de dosel, actualización de base de datos o inventario forestal, etc.
- Por último, se podría considerar la aplicación o el aprovechamiento de un vuelo LiDAR con el objetivo de delimitar predios con límite natural

cuya accesibilidad esté condicionada por el bosque, en los cuales la tarea con equipos tradicionales se vería claramente obstaculizada generando dificultades en el relevamiento.

## 13. CONCLUSIONES

---

A continuación se presentan las conclusiones que se han derivado del presente trabajo:

- En primer lugar, y con respecto al objetivo general de este trabajo, se puede afirmar que la metodología desarrollada sirvió para detectar zonas del bosque nativo que se destacan en altura por sobre el estrato medio predominante. Los resultados y análisis de los modelos realizados fueron validados en la realidad, en cuanto a que en la visita a campo se comprobó lo que mostraban los modelos.
- Si bien en la visita a campo se pudieron observar especies y ejemplares que sobresalen en altura respecto de la media, ninguna zona se caracterizó (en altura) por la presencia de EEI, sino que por el contrario éstas especies que fueron vistas son autóctonas, y también exóticas pero no de las consideradas invasoras.
- Durante la recorrida en campo se pudieron observar EEI como la morera y el ligustro pero que aún no sobrepasaban la altura promedio del estrato del bosque nativo, es decir que no estaban en una edad adulta. Se puede afirmar entonces, que en la zona de estudio existe cierto grado de invasión, pero no es de importancia. La metodología desarrollada, claramente, resulta útil para detectar aquellas especies cuya altura se destaca por sobre la media.
- En cuanto a las herramientas investigadas y elegidas en este trabajo para procesar la información base LiDAR, se puede decir que



resultaron muy útiles y eficaces en cuanto a la obtención de resultados objetivos, como uno de los objetivos planteados. Principalmente el paquete de software ArcGis (versión 10.3), a través de sus plataformas ArcMap y ArcScene brindaron gran capacidad de procesamiento y visualización, arrojando resultados válidos para la toma de decisiones y los análisis pertinentes orientados al objetivo general.

- Con respecto a las investigaciones hechas para tener un panorama de cuan invadidos están los bosques nativos de nuestro País, se pudo saber que algunas zonas del territorio están efectivamente invadidas, como por ejemplo los esteros de Farrapos en el departamento de Río Negro. En la zona de estudio de este trabajo no se pudo confirmar de forma previa si había indicios de invasión de las especies problemáticas y en qué grado. No se pudo obtener información, ya sea por no existir o por no encontrarse disponible, que permitiera comparar los resultados con respecto a lo esperable o probable.
- Por último, se puede decir que aplicando la metodología desarrollada se logra una eficiencia en la logística y en tiempos empleados para detectar las EEI en campo, ya que si las especies son adultas seguramente se destaquen en altura y por ende serán detectadas y ubicadas geográficamente aplicando la metodología descrita. A partir de esto, se accederá directamente y se reconocerán in situ éstas zonas, en principio, y no otras.

## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- **ÁNGEL A. Juan, Máximo Sedano, Alicia Vila. La Distribución Normal.** [https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Distrib\\_Normal.pdf](https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Distrib_Normal.pdf). Consultado en abril de 2018.
- **Base de datos de Invasiones Biológicas para Uruguay.** Facultad de Ciencias (UdelaR). [http://inbuy.fcien.edu.uy/fichas\\_de\\_especies/indexDefiniciones.html](http://inbuy.fcien.edu.uy/fichas_de_especies/indexDefiniciones.html) Consultado en febrero de 2018.
- **Comité Nacional de Especies Exóticas Invasoras (CEEI) Especies exóticas invasoras leñosas: experiencias de control.** Montevideo, noviembre 2015. ISBN: 978-9974-658-21-9
- **FELICÍSIMO Pentalfa, Angel M., Oviedo 1994. Modelos Digitales del Terreno - Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales -** ISBN 84-7848-475-2.
- **GARCÍA, Mariano. 2011. Obtención de variables forestales a partir de datos LiDAR.** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. [http://www.mapama.gob.es/es/red-parques-nacionales/plan-seguimiento-evaluacion/seguimiento-ecologico/documento-tecnico-obtencion-variables-lidar\\_tcm7-337536.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/red-parques-nacionales/plan-seguimiento-evaluacion/seguimiento-ecologico/documento-tecnico-obtencion-variables-lidar_tcm7-337536.pdf). Consultado en abril de 2018.
- **GONZÁLEZ, Víctor H. y otros, Caso de estudio: Estimación de volumen a partir de datos LiDAR.** Diciembre de 2013 [https://www.researchgate.net/publication/309590042\\_Caso\\_de\\_estudio\\_estimacion\\_de\\_volumen\\_a\\_partir\\_de\\_datos\\_LiDAR\\_para\\_pino\\_radiata\\_en\\_el\\_municipio\\_de\\_Guitiriz](https://www.researchgate.net/publication/309590042_Caso_de_estudio_estimacion_de_volumen_a_partir_de_datos_LiDAR_para_pino_radiata_en_el_municipio_de_Guitiriz). Consultado en abril de 2018.
- **Grupo Guayubirá.** <http://www.guayubira.org.uy/>. Consultado en enero de 2018
- **HERNÁNDEZ, J. y CORVALÁN, P. 2011. Evaluación de la estructura horizontal y vertical de bosque nativo usando LIDAR.** Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza Universidad de Chile. [http://acreditacion.fisa.cl/ugi/contenidos/ponencia/3/HernandezJaime\\_201120302MISTK\\_f.docx](http://acreditacion.fisa.cl/ugi/contenidos/ponencia/3/HernandezJaime_201120302MISTK_f.docx). Consultado en noviembre de 2017.

- IMPO. Centro de información Oficial. Normativa y Avisos Legales del Uruguay. **Ley Forestal N° 15.939, de 28 de diciembre.**  
<https://www.impo.com.uy/bases/leyes/15939-1987/17>. Consultado en noviembre de 2017.
- IMPO. Centro de información Oficial. Normativa y Avisos Legales del Uruguay. **Decreto reglamentario N° 452/988 del 6 de julio de 1988.**  
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/452-1988/>. Consultado en noviembre de 2017.
- LAGOS, Leo. Artículo: **El bosque nativo bajo la lupa.** 9 de diciembre de 2017. Diario: *La Diaria*  
<https://findesemana.ladiaria.com.uy/articulo/2017/12/el-bosque-nativo-bajo-la-lupa/#subscribe-footer>. Consultado en noviembre de 2017.
- NEBEL, Juan P. y PORCILE, Juan F. 2006. **La contaminación del bosque nativo por especies arbóreas y arbustivas exóticas.**  
[http://www.guayubira.org.uy/monte/Contaminacion\\_monte\\_nativo\\_exoticas.pdf](http://www.guayubira.org.uy/monte/Contaminacion_monte_nativo_exoticas.pdf). Consultado en noviembre de 2017.
- SAN JOSÉ ALBACETE, Antonio. 2011. **Procesamiento de datos LiDAR con ArcGIS Desktop 10.** Trabajo final, Master en tecnologías de la información. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía e Historia.  
<http://www.comunidadism.es/herramientas/procesamiento-de-datos-lidar-con-arcgis-desktop-10>. Consultado en noviembre de 2017.
- Sociedad Americana de Fotogrametría y Percepción Remota/Teledetección (ASPRS). **LAS Specifications Version 1.4 – R13.**  
[https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS\\_1\\_4\\_r13.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf). Consultado en abril de 2018
- Sociedad de Productores Forestales del Uruguay. **Artículo N° 03, Revista N° 14,** abril de 2016, Montevideo, Uruguay/  
<https://issuu.com/revistaforestaluy/docs/f14>. Consultado en diciembre de 2017.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales. **Cartografía de Vegetación en la Comunidad de Madrid utilizando información LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA),** 6to

Congreso Forestal Español, junio de 2013, Vitoria-Gasteiz, España.

ISBN:978-84-937964-9-5.

[http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/view/](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/view/10320)

10320\_Consultado en octubre de 2017.

## 15. ANEXOS

---

### Ley N° 15939

#### TITULO I - DISPOSICIONES GENERALES

##### Artículo 1

Decláranse de interés nacional la defensa, el mejoramiento, la ampliación, la creación de los recursos forestales, el desarrollo de las industrias forestales y, en general, de la economía forestal.

##### Artículo 2

La política forestal nacional será formulada y ejecutada por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y deberá estar fundamentalmente orientada hacia el cumplimiento de los fines de interés nacional mencionados en el artículo anterior

##### Artículo 3

Las disposiciones de la presente ley regularán lo concerniente a los bosques, parques y terrenos forestales existentes dentro del territorio nacional.

##### Artículo 4

Son bosques las asociaciones vegetales en las que predomina el arbolado de cualquier tamaño, explotado o no, y que estén en condiciones de producir madera u otros productos forestales o de ejercer alguna influencia en la conservación del suelo, en el régimen hidrológico o en el clima, o que proporcionen abrigo u otros beneficios de interés nacional.

##### Artículo 5

Son terrenos forestales aquellos que, arbolados o no:

A) Por sus condiciones de suelo, aptitud, clima, ubicación y demás características, sean inadecuados para cualquier otra explotación o destino de carácter permanente y provechoso;

B) Sean calificados como de prioridad forestal mediante resolución del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, en función de la aptitud forestal del suelo, o razones de utilidad pública. En este último caso, se comunicará a la Asamblea General.

##### Artículo 6

La Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca será el órgano ejecutor de la política forestal

##### Artículo 7



Sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo anterior, la Dirección Forestal tendrá los siguientes cometidos especiales:

- A) Promover el desarrollo forestal en todas sus etapas productivas mediante actividades de investigación, extensión, propaganda y divulgación;
- B) Estudiar y planificar el desarrollo de la economía forestal nacional, analizar sus costos de producción, precios y mercados y censar los medios productivos silvícolas e industriales;
- C) Fomentar y planificar la forestación en tierras privadas o públicas y desarrollar todas las actividades que, con este fin, se prevén en esta ley;
- D) Incrementar y mejorar la producción y distribución de plantas y semillas para forestación;
- E) Asistir a las instituciones públicas y a los particulares propietarios de bosques, en el manejo de formaciones naturales o artificiales y su explotación racional;
- F) Administrar, conservar y utilizar el Patrimonio Forestal del Estado, de acuerdo con las disposiciones de esta ley;
- G) Organizar la protección de los bosques contra enfermedades, parásitos y otras causas de destrucción;
- H) Coordinar con la Dirección Nacional de Bomberos la protección contra incendios;
- I) Desarrollar tareas de experimentación en el campo de la ecología forestal, la explotación y las industrias forestales, en coordinación con las actividades que en este campo desarrollen otras instituciones;
- J) Colaborar con la Junta Honoraria Forestal;
- K) Coordinar con los organismos correspondientes del Estado el contralor de la transferencia de dominio y el transporte de los productos forestales, que podrá realizarse mediante la utilización de guías de propiedad y tránsito en las condiciones que determine la reglamentación. Asimismo estará facultada para exigir la formulación de declaraciones juradas a quienes sean tenedores de productos forestales, en las condiciones que determine la reglamentación;
- L) Coordinar con los Gobiernos Departamentales interesados, las acciones conducentes a la promoción forestal en el departamento.

Notas:

Reglamentado por:

Decreto N° 330/993 de 13/07/1993,

Decreto N° 23/990 Derogada/o de 23/01/1990.

TITULO II - BOSQUES PARTICULARES

## CAPITULO I - CALIFICACION Y DESLINDE

### **Artículo 8**

Los bosques particulares se calificarán según sus fines en la siguiente forma:

- A) Protectores, cuando tengan fundamentalmente el fin de conservar el suelo, el agua y otros recursos naturales renovables;
- B) De rendimiento, cuando tengan por fin principal la producción de materias leñosas o aleñosas y resulten de especial interés nacional por su ubicación o por la clase de madera u otros productos forestales que de ellos puedan obtenerse;
- C) Generales, cuando no tengan las características de protectores ni de rendimiento.

La calificación de los bosques protectores y de rendimiento será hecha por la Dirección Forestal, a su iniciativa o por solicitud de los interesados.

En este segundo caso, éstos deberán presentar:

- A) Un informe circunstanciado, cuando se trate de calificar un bosque ya existente;
- B) Un proyecto de forestación, cuando se trate de crear un bosque protector o de rendimiento.

### **Artículo 9**

La Dirección Forestal llevará los registros en que se inscribirán los bosques que se califiquen como protectores o de rendimiento.

El Registro de la Propiedad Inmueble llevará asimismo, un registro público de los contratos de arrendamiento con destino a forestación, así como de contratos de enajenación de bosques, actos declarativos, modificativos y extintivos que se inscriban, los que serán oponibles a terceros desde la fecha de su inscripción.

Notas:

Inciso 2º) agregado/s por: Ley N° 17.555 de 18/09/2002 artículo 77.

### **Artículo 10**

La Dirección Forestal determinará los procedimientos técnicos que habiliten para efectuar las operaciones de calificaciones de bosques, de acuerdo con el artículo 8º.

### **Artículo 11**

La Dirección Forestal queda facultada para efectuar las inspecciones necesarias con el fin de asegurar el cumplimiento de la presente ley.

## CAPITULO II - FORESTACION OBLIGATORIA

### **Artículo 12**

Es obligatoria la plantación de bosques protectores en aquellos terrenos que lo requieran para una adecuada conservación o recuperación de los

recursos naturales renovables, sean dichos terrenos de propiedad privada o pública. La designación de los terrenos declarados de forestación obligatoria, se hará por el Poder Ejecutivo, a propuesta del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, dando cuenta a la Asamblea General

### **Artículo 13**

La resolución mencionada en el artículo anterior determinará las condiciones y los plazos dentro de los cuales se ejecutará la forestación, la cual será amparada por todos los beneficios tributarios y de financiamiento previstos en esta ley.

El propietario que, comprendido en la situación del artículo 12, no quiera realizar el trabajo, podrá optar por la venta del terreno a terceros o al Estado; en el primer caso, lo ofrecerá con preferencia al ocupante. Si se trata de predios arrendados o en aparecería, el ocupante queda obligado a permitir al propietario la ejecución de los trabajos de forestación. Cuando la superficie forestada sobrepase el 5% (cinco por ciento) del área total del predio se rebajará proporcionalmente el precio del arrendamiento, en tanto la superficie ocupada por el bosque no sea aprovechable para el ocupante.

### **Artículo 14**

Declárase de utilidad pública la expropiación de los predios cuyos propietarios, vencidos los plazos a que refiere el artículo anterior, no hubieren realizado la plantación. En tal caso, previo cumplimiento de los requisitos establecidos por el artículo 32 de la Constitución, el Poder Ejecutivo, a propuesta del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca podrá expropiar total o parcialmente el predio. La superficie expropiada ingresará al Patrimonio Forestal del Estado.

### **Artículo 15**

Sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo anterior, mientras no se realicen las plantaciones o el Poder Ejecutivo no designe la totalidad o parte del inmueble a expropiar, vencidos los plazos referidos en el inciso primero del artículo 13, el propietario pagará una multa del 1 o/oo (uno por mil) mensual sobre el valor real de la totalidad o de la parte expropiable del inmueble, según el caso, fijado por la Dirección General del Catastro Nacional y Administración de Inmuebles del Estado.

### **Artículo 16**

El Poder Ejecutivo, a propuesta del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, previo informe de la Dirección Forestal, podrá modificar la resolución que establece la forestación obligatoria, cuando el propietario presente soluciones sustitutivas, totales o parciales, que permitan cumplir

la misma finalidad dentro de las condiciones y plazos que se establecen.

### TITULO III - PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO

#### Artículo 17

Todos los bosques y terrenos forestales definidos en los artículos 4º y 5º que sean propiedad del Estado a la fecha de promulgación de la presente ley, y los que adquiriera en el futuro, integran el Patrimonio Forestal del Estado, quedando bajo la defensa y protección del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, con excepción del arbolado existente en las franjas de dominio público de las rutas nacionales e inmuebles propiedad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, que quedarán bajo custodia de este Ministerio. Los bosques y terrenos municipales permanecerán en la órbita de éstos.

Notas:

Redacción dada por: Ley Nº 17.930 de 19/12/2005 artículo 213.

TEXTO ORIGINAL: Ley Nº 15.939 de 28/12/1987 artículo 17.

#### Artículo 18

La Dirección Forestal proveerá su conservación, protección, ampliación, mejoramiento y utilización racional.

Quedan exceptuados los Parques Nacionales de Santa Teresa y San Miguel, que continuarán dirigidos y administrados por la Comisión Honoraria de Restauración y Conservación de la Fortaleza de Santa Teresa y Fuerte San Miguel (Ley Nº 8.172, de 26 de diciembre de 1927 y artículo 12 de la ley 12.802, de 30 de noviembre de 1960).

Por razones de conveniencia, el Poder Ejecutivo podrá conceder a entidades públicas o privadas sin fines de lucro, la dirección y administración de otros sectores del Patrimonio Forestal del Estado. En el caso de los parques nacionales, se deberá permitir el uso por el público en general.

Notas:

Ver: Ley Nº 16.170 de 28/12/1990 artículo 267 (Sustitución de denominación: "Dirección Forestal", por "Dirección General de Recursos Naturales Renovables").

#### **Artículo 19**

Los parques nacionales serán así declarados por resolución del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, a propuesta de la Dirección Forestal. Los parques nacionales serán destinados a fines turísticos, recreativos, científicos y culturales y no podrán ser sometidos a explotación, salvo la necesaria para preservar el destino de interés general que motivó su creación.

Los demás bosques fiscales estarán constituidos, sin declaración expresa, por la porción del Patrimonio Forestal del Estado que no se encuentre en la situación prevista en el inciso anterior. Podrán explotarse solamente bajo un plan de manejo, ordenación y mejoras propuesto por la Dirección Forestal, aprobado por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y que ejecutará dicha Dirección, ya sea directamente o por medio de convenios con otros organismos públicos o paraestatales, empresas particulares o cooperativas.

Notas:

Ver: Ley N° 16.170 de 28/12/1990 artículo 267 (Sustitución de denominación: "Dirección Forestal", por "Dirección General de Recursos Naturales Renovables").

#### **Artículo 20**

Los proventos emergentes de la utilización de los bosques administrados por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca serán vertidos directamente al Fondo Forestal. A su vez, con cargo al mismo Fondo se financiarán los trabajos de forestación, mejora, manejo y explotación que la Dirección Forestal realice en el Patrimonio Forestal del Estado. Dicha financiación tendrá prioridad sobre los préstamos a particulares.

#### **Artículo 21**

La Dirección Forestal calificará los bosques que integren el Patrimonio Forestal del Estado, aunque no sean protectores o de rendimiento y llevará registros especiales para todos ellos.

El Patrimonio Forestal del Estado será clasificado por la Dirección Forestal, de acuerdo con lo dispuesto por el artículo 10, dentro del plazo de un año desde la fecha de promulgación de esta ley, y dentro de un plazo de treinta días a partir de su inscripción en el Registro, cuando ingresen otras porciones en el futuro.

### TITULO IV - PROTECCION DE LOS BOSQUES

#### CAPITULO I - PROTECCION DE LOS BOSQUES PARTICULARES

#### **Artículo 22**

Protección de los bosques particulares.

- Queda prohibida la destrucción de los bosques protectores.

Será considerada destrucción de bosques cualquier operación que no se ajuste al plan mencionado en el artículo 49 y que atente, intencionalmente o no, contra el desarrollo o permanencia del bosque. Su eliminación sólo podrá efectuarse previa autorización y con las cautelas que fijará la Dirección Forestal en cada caso.

Quien haya destruido un bosque violando lo preceptuado en los incisos anteriores, será obligado a la reforestación de acuerdo a las normas de

los artículos 12, 13, 14 y 15, no gozando para tales efectos de los beneficios de financiamiento que confiere la ley

#### **Artículo 23**

El Poder Ejecutivo, previo asesoramiento del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y de los Gobiernos Departamentales competentes, delimitará las zonas en las que quedará prohibida la corta y destrucción de los bosques protectores implantados en los predios urbanos y suburbanos.

Los Gobiernos Departamentales podrán autorizar en forma fundada la corta parcial o total de los bosques referidos, con las cautelas que estimen pertinentes para cada caso y exigir la reforestación del predio en cuanto correspondiere.

#### **Artículo 24**

Prohíbese la corta y cualquier operación que atente contra la supervivencia del monte indígena, con excepción de los siguientes casos:

A) Cuando el producto de la explotación se destine al uso doméstico y alambrado del establecimiento rural al que pertenece;

B) Cuando medie autorización de la Dirección Forestal basada en un informe técnico donde se detallen tanto las causas que justifiquen la corta como los planes de explotación a efectuarse en cada caso.

Notas:

Reglamentado por:

Decreto N° 330/993 de 13/07/1993,

Decreto N° 23/990 Derogada/o de 23/01/1990.

Ver: Ley N° 16.170 de 28/12/1990 artículo 267 (Sustitución de denominación: "Dirección Forestal", por "Dirección General de Recursos Naturales Renovables").

#### **Artículo 25**

Queda prohibida la destrucción de los palmares naturales y cualquier operación que atente contra su supervivencia.

El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca a propuesta de la Dirección Forestal, por razones científicas o de interés general, podrá reglamentar la corta o la explotación de determinadas especies o ejemplares forestales, así como la utilización de resinas, cortezas, semillas, hojas u otras partes de árboles forestales nativos o exóticos.

Notas:

Ver: Ley N° 16.170 de 28/12/1990 artículo 267 (Sustitución de denominación: "Dirección Forestal", por "Dirección General de Recursos Naturales Renovables").

#### **Artículo 26**



Los Gobiernos Departamentales no podrán autorizar fraccionamientos en terrenos declarados de forestación obligatoria por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, sin previa autorización del mismo, la cual no será acordada mientras no sean forestados.

**Artículo 27**

Los bosques protectores o de rendimiento sólo podrán ser expropiados por el Instituto Nacional de Colonización en casos excepcionales, previa autorización del Poder Ejecutivo, cuando ello convenga al interés general.

**Artículo 28**

Cuando en un bosque aparezcan enfermedades o se desarrollen parásitos, que amenacen su conservación o la de los bosques vecinos, quienes tengan conocimiento de ello deberán enviar aviso inmediato a la Dirección Forestal. El dueño del bosque deberá ajustarse a las directivas que sobre el particular le imponga dicha Dirección.

Todo propietario de bosques estará obligado a adoptar las medidas de lucha contra las plagas, alimañas y predadores que causen daño a los plantíos, a las aves de corral y a los animales domésticos de predios vecinos, ajustándose a las directivas que sobre el particular fije el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca a través de sus servicios especializados.

Los propietarios de cualquier bosque podrán beneficiarse de los financiamientos previstos en el artículo 44 para efectuar los tratamientos fitosanitarios que se requieran.

**Artículo 29**

El Poder Ejecutivo establecerá las normas obligatorias de prevención de incendios y otras formas de protección de los bosques.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 849/988 de 14/12/1988.

**Artículo 30**

Todo proyecto de forestación, manejo u ordenación de bosques, redactado en base a los artículos 8 y 49, deberá prever una red de calles anti - incendio, las que deberán conservarse libres de vegetación según las previsiones de esta ley y de la reglamentación a que se refiere el artículo anterior.

Los propietarios de bosques colindantes con vías férreas o carreteras públicas, deberán mantener libres de vegetación las fajas cuyas dimensiones determinará la reglamentación.

En caso de incumplimiento de dichas obligaciones, la Dirección Forestal podrá proponer la supresión de los beneficios otorgados por los artículos 39 a 51 de esta ley.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas, los Gobiernos Departamentales y la Administración de Ferrocarriles del Estado, quedan facultados a realizar por sí o contratar con terceros la limpieza de la maleza y realización de contrafuegos en los espacios ocupados por carreteras o líneas férreas próximas a bosques.

Notas:

Inciso 4º) redacción dada por: Ley N° 16.002 de 25/11/1988 artículo 60.

TEXTO ORIGINAL: Ley N° 15.939 de 28/12/1987 artículo 30.

### **Artículo 31**

Los financiamientos para trabajos de protección forestal a que se refiere el artículo 44, se extenderán a las obras y los elementos que se necesiten para la protección de los bosques contra los incendios, como ser: torres de control, calle anti-incendios, equipos de comunicación, medios técnicos de señalamiento a distancia y para determinar índices de peligrosidad, así como útiles y máquinas para la intervención contra el fuego en los bosques.

Los financiamientos también podrán ser otorgados a los grupos asociados de interesados, previstos por el artículo 32.

Las importaciones de elementos destinados a estos fines realizadas por los interesados gozarán del régimen de liberación que establece el artículo 66.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 457/989 de 27/09/1989.

### **Artículo 32**

La Dirección Forestal ayudará a la constitución y el funcionamiento de asociaciones civiles de propietarios de bosques, que tengan por finalidad la prevención y la lucha contra los incendios y plagas forestales, en forma asociada.

El Estado, a través del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, podrá participar en dichas asociaciones cuando los bosques de los miembros de una de ellas se encuentren próximos a bosques o terrenos forestales pertenecientes al Patrimonio Forestal del Estado.

### **Artículo 33**

Toda persona está obligada a denunciar de inmediato a la autoridad más próxima la existencia de fuego en un bosque o sus proximidades, o cualquier infracción a las normas de protección establecidas en los artículos anteriores.

Las autoridades gubernamentales adoptarán toda las iniciativas más rápidas y adecuadas en medios y personal, para organizar la extinción de los incendios forestales.

#### **Artículo 34**

Notas:

Este artículo dio nueva redacción a: Código Rural de 14/06/1941 artículo 12 inciso 3º).

#### **Artículo 35**

Notas:

Este artículo dio nueva redacción a: Código Rural de 14/06/1941 artículo 20.

### **CAPITULO II - PROTECCION DEL PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO**

#### **Artículo 36**

Los bosques y terrenos forestales pertenecientes al Patrimonio Forestal del Estado serán sometidos a las normas de protección mencionadas en el capítulo anterior, en lo aplicable.

Sin perjuicio de los establecido por dichas normas, en los bosques y terrenos forestales pertenecientes al Patrimonio Forestal del Estado, la Dirección Forestal podrá:

- A) Prohibir temporalmente el tránsito cuando factores climáticos o de otra naturaleza pongan en riesgo su conservación;
- B) Prohibir la ocupación o instalación permanente de particulares;
- C) Prohibir la explotación y la corta parcial o total de árboles y arbustos aislados de cualquier tamaño y edad;
- D) Prohibir, total o parcialmente, la utilización de la cosecha de todo producto además de la madera, cuando razones de conservación y protección de los recursos naturales así lo aconsejen;
- E) Prohibir el pastoreo de animales domésticos, fijando cuando lo autorice, las condiciones de pago, el número y especie de animales que podrán ser introducidos, la superficie y los deslindes de la zona objeto de la concesión.

Las entradas que deriven de cualquier concesión a particulares en terrenos pertenecientes al Patrimonio Forestal del Estado ingresarán al Fondo Forestal.

Notas:

Ver: Ley N° 16.170 de 28/12/1990 artículo 267 (Sustitución de denominación: "Dirección Forestal", por "Dirección General de Recursos Naturales Renovables").

### **Artículo 37**

El que incumpliere las normas protectoras previstas en el artículo anterior, indemnizará al Fisco el daño directo o indirecto que hubiere causado al Patrimonio Forestal del Estado.

El monto de dicha indemnización se verterá en el Fondo Forestal.

El pago de la indemnización no exime al responsable de las otras sanciones previstas en esta ley ni de las previstas por el Código Civil y el Código Rural.

### **Artículo 38**

El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca podrá destinar hasta un 5% (cinco por ciento) de las recaudaciones anuales del Fondo Forestal en inversiones para la prevención de incendios y en la organización y sostenimiento de un servicio de guardería forestal que mantendrá la vigilancia permanente del Patrimonio Forestal del Estado.

TITULO V - FOMENTO DE LA FORESTACION

CAPITULO I - BENEFICIOS TRIBUTARIOS

### **Artículo 39**

Los bosques artificiales existentes o que se planten en el futuro, declarados protectores según el artículo 8º o los de rendimiento en las zonas declaradas de prioridad forestal y los bosques naturales declarados protectores de acuerdo al mencionado artículo, así como los terrenos ocupados o afectados directamente a los mismos, gozarán de los siguientes beneficios tributarios:

1) Estarán exentos de todo tributo nacional sobre la propiedad inmueble rural y de la contribución inmobiliaria rural;

2) Sus respectivos valores o extensiones no se computarán para la determinación de: a) ingresos a los efectos de la liquidación de los impuestos que gravan la renta ficta de las explotaciones agropecuarias (IMAGRO u otros que se establezcan en el futuro y tengan similares hechos generadores), y b) el monto imponible del impuesto al patrimonio;

3) Los ingresos derivados de la explotación de los bosques no se computarán a los efectos de la determinación del ingreso gravado en el impuesto a las rentas agropecuarias (IRA u otros que se establezcan en el futuro y tengan similares hechos generadores).

4) Las rentas derivadas de su explotación no se computarán a efectos de la liquidación del Impuesto a las Rentas de la Industria y Comercio (IRIC) o de otros impuestos que se establezcan en el futuro y tengan similares hechos generadores, por los sujetos pasivos de actividades agropecuarias e industriales cuando el producto total o parcial de la actividad agropecuaria, constituye insumo de su actividad industrial.

Notas:

Ver vigencia: Ley N° 18.083 de 27/12/2006 artículo 3.

Numeral 4º) agregado/s por: Ley N° 16.002 de 25/11/1988 artículo 90.

Reglamentado por: Decreto N° 247/989 de 24/05/1989.

Ver: Ley N° 18.876 de 29/12/2011 artículo 7 Derogada/o (interpretativo),

Ley N° 18.083 de 27/12/2006 artículo 112,

Ley N° 17.843 de 21/10/2004 artículo 1,

TO 1996 (DGI) de 28/08/1996 artículo 99 - Título 4.

TEXTO ORIGINAL: Ley N° 15.939 de 28/12/1987 artículo 39.

#### **Artículo 40**

Los beneficios fiscales previstos en el artículo anterior cesarán desde el monto en que el bosque sea destruido por cualquier causa.

Si la destrucción fuera parcial los beneficios mencionados subsistirán sobre la porción del bosque que quedare.

Cuando la destrucción total o parcial del bosque fuere causada intencionalmente o por culpa grave y la responsabilidad correspondiere al propietario, la administración exigirá el pago de los recargos por mora desde el momento que el impuesto hubiere sido diferido por aplicación del artículo anterior, sin perjuicio de los previsto en el artículo 22 y en el Título VII.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 247/989 de 24/05/1989.

#### **Artículo 41**

Para la fijación de aforos y tasaciones se determinará por separado el valor de la tierra y el de las plantaciones.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 247/989 de 24/05/1989.

#### **Artículo 42**

El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, a propuesta de la Dirección Forestal, establecerá anualmente los costos fictos de forestación y mantenimiento.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 247/989 de 24/05/1989.

#### **Artículo 43**

Las exoneraciones y demás beneficios tributarios establecidos en la presente ley, alcanzan a todos los tributos que en el futuro graven genéricamente a las explotaciones agropecuarias, a sus titulares en cuanto tales, o a sus rentas. Ellos regirán por el plazo de doce años, a partir de la implantación de los bosques según el artículo 39 de la presente ley.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 247/989 de 24/05/1989.

Ver: Ley N° 18.876 de 29/12/2011 artículo 7 Derogada/o (interpretativo).

## CAPITULO II - FINANCIAMIENTO

### **Artículo 44**

El financiamiento establecido en el presente capítulo se atenderá con el Fondo Forestal de que trata el Capítulo III de este título.

Dicho financiamiento será concedido por la administración del Fondo para trabajos de forestación, regeneración natural del bosque, manejo y protección forestal.

Entre los trabajos de forestación estarán comprendidos la instalación y el desarrollo de viveros forestales.

Los financiamiento para forestaciones existentes se acordarán de acuerdo con su grado de desarrollo. Los proyectos de forestación tendrán dichos financiamientos siempre que hayan sido aprobados y calificados como protectores o de rendimiento.

La implantación de bosques en los terrenos a que se refiere el artículo 5° de la presente ley, podrá recibir financiamiento por el monto de la inversión directa, calculado según el costo ficto de cada una de las etapas de implantación, excluido el valor del terreno, con cargo a las disponibilidades del Fondo Forestal, en las condiciones que determine la reglamentación.

### **Artículo 45**

La Dirección Forestal ejercerá el control técnico de los viveros forestales beneficiados por el financiamiento previsto en el artículo anterior, ya sean de uso propio o con finalidad comercial.

### **Artículo 46**

En el caso de bosques creados con los financiamientos establecidos en la legislación forestal, serán solidariamente responsables del cumplimiento del proyecto de forestación y plan de manejo y explotación respectivos, el beneficiario y los sucesivos titulares del bosque. En consecuencia quedarán sujetos a la aplicación de las sanciones previstas en la presente ley; así como las que establece las legislación vigente en materia de infracciones tributarias.

Los beneficiarios y sucesivos titulares de los bosques podrán eximirse de dicha responsabilidad, cuando previamente a la toma de posesión del bosque por el nuevo titular, se constate por la Dirección Forestal el correcto cumplimiento del plan de forestación y manejo del mismo.

Notas:

Fe de erratas publicada/s: 09/06/1988.



#### **Artículo 47**

Cuando la destrucción total o parcial de un bosque beneficiado con los financiamientos previstos en el presente capítulo fuera causada intencionalmente o por culpa grave y la responsabilidad corresponda al beneficiario, la Administración exigirá la restitución del monto de la financiación otorgada incluyendo su actualización, según el costo ficto fijado por el Poder Ejecutivo, quedando facultada para aplicar las sanciones previstas en el Título VII de la presente ley.

La restitución deberá ser realizada dentro del año de producida la destrucción y en relación con la superficie afectada.

Cuando la Dirección Forestal determinare que la destrucción no se puede imputar directa o indirectamente al beneficiario de la financiación, podrá conceder un plazo razonable para su nueva plantación o, en su defecto, para la devolución de los beneficios recibidos, actualizados según el costo fijado por el Poder Ejecutivo.

#### **Artículo 48**

En el otorgamiento de los financiamientos tendrán prioridad aquellos que se solicitaren para plantar en terrenos forestales que reúnan conjuntamente las condiciones previstas en los literales A) y B) del artículo 5°

#### **Artículo 49**

Para gozar de los beneficios tributarios y de financiamiento establecidos en este título, los interesados deberán presentar un plan de manejo y ordenación para las labores de explotación y regeneración de bosques. Dicho plan deberá ser aprobado por la Dirección Forestal, la que deberá requerir que sea acompañado por la firma de ingeniero agrónomo, técnico o experto forestal de la Escuela de Silvicultura del Consejo de Educación Técnico-Profesional.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 247/989 de 24/05/1989.

#### **Artículo 50**

Los sujetos pasivos del Impuesto a las Actividades Agropecuarias (IMAGRO), del Impuesto a las Rentas Agropecuarias (IRA), del Impuesto a las Rentas de la Industria y Comercio (IRIC), mencionados en el numeral 4) del artículo 39, o de otros impuestos que se establezcan en el futuro y tengan similares hechos generadores, podrán deducir del monto a pagar por dichos impuestos, un porcentaje del costo de plantación de los bosques artificiales que sean declarados protectores o de rendimiento, en

las zonas declaradas de prioridad forestal, conforme al artículo 8 de la presente ley.

El Poder Ejecutivo reglamentará las condiciones a que deberá ajustarse el otorgamiento de dicho beneficio. A esos efectos, atenderá al valor que se establezca para el costo ficto de forestación y mantenimiento.

Notas:

Inciso 1º) redacción dada por: Ley Nº 16.002 de 25/11/1988 artículo 91.

Ver vigencia:

Ley Nº 18.083 de 27/12/2006 artículo 3,

Ley Nº 16.002 de 25/11/1988 artículo 91.

Reglamentado por: Decreto Nº 247/989 de 24/05/1989.

Ver: Ley Nº 18.083 de 27/12/2006 artículo 112,

TO 1996 (DGI) de 28/08/1996 artículo 99 - Título 4.

TEXTO ORIGINAL: Ley Nº 15.939 de 28/12/1987 artículo 50.

### **Artículo 51**

El Poder Ejecutivo, por vía reglamentaria, determinará el régimen de otorgamiento de los financiamientos previstos en esta ley, de acuerdo a las etapas de realización de los proyectos. Se podrá exigir a los beneficiarios de los financiamientos la contratación de seguros y el otorgamiento de las garantías que se consideren necesarios.

### **CAPITULO III - DEL FONDO FORESTAL**

### **Artículo 52**

Créase el Fondo Forestal con el fin de atender las erogaciones que demande la aplicación de la presente ley. Este Fondo se integrará con los siguientes recursos:

A) Las sumas que le asigne el Poder Ejecutivo de acuerdo con las leyes de presupuesto;

B) El reintegro de los créditos otorgados por el Fondo Forestal así como los intereses cobrados por los mismos;

C) El producto de toda clase de entradas por utilización, concesiones o proventos que deriven de la gestión del Patrimonio Forestal del Estado;

D) El monto de las indemnizaciones que reciba el Patrimonio Forestal del Estado de acuerdo al artículo 37;

E) El importe de las multas aplicadas por infracciones a las disposiciones de esta ley y sus reglamentaciones;

F) Los fondos procedentes de préstamo y demás financiamientos que se concierten de acuerdo a la ley;

G) Los legados y donaciones que reciba

### **Artículo 53**

El Fondo Forestal será administrado por una Comisión Honoraria denominada "Comisión Administradora del Fondo Forestal" que ependerá del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, el que brindará todo el apoyo necesario para su funcionamiento.

La Comisión está integrada por tres miembros:

- 1) El Director de la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca que la presidirá;
- 2) Otro delegado del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca;
- 3) Un delegado del Ministerio de Economía y Finanzas.

Los organismos representados designarán además un miembro alterno para cada titular. Sin perjuicio de los cometidos que le asigne la reglamentación, la Comisión Administradora que se crea tendrá por cometido básico y fundamental la administración, dirección, contralor y superintendencia de los aspectos económico-financieros de los planes y proyectos forestales que se desarrollen con asistencia del Fondo Forestal.

#### **Artículo 54**

Las cantidades que se integren al Fondo Forestal será depositadas en una cuenta especial en el Banco de la República Oriental del Uruguay, denominada "Fondo Forestal", cuyas disponibilidades se destinarán a atender los requerimientos del desarrollo forestal mediante financiamientos, según las disposiciones de la presente ley y las que el Poder Ejecutivo establezca por vía reglamentaria a propuesta del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.

#### **Artículo 55**

El Poder Ejecutivo destinará para el desarrollo forestal una partida anual mínima equivalente al costo ficto de forestación de diez mil hectáreas la que se distribuirá de la siguiente manera:

- 1) El 95% (noventa y cinco por ciento) para integrar el Fondo Forestal previsto en el artículo 52 de la presente ley. Con dicho fondo podrán atenderse además de los financiamientos previstos en el Capítulo II de este título, las erogaciones que demanden las expropiaciones, adquisiciones y forestaciones de predios previstas en el Título III de la presente ley;
- 2) El 5% (cinco por ciento) restante para atender gastos de contratación de personas, contratación de servicios y gastos de la unidad ejecutora 107, "Dirección General de Recursos Naturales Renovables" y la unidad ejecutora 119, "Dirección Forestal".

Notas:

Numeral 2º) redacción dada por: Ley N° 16.170 de 28/12/1990 artículo 269.

TEXTO ORIGINAL: Ley N° 15.939 de 28/12/1987 artículo 55.

#### **Artículo 56**

El Poder Ejecutivo, a propuesta del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, dentro del plazo de noventa días contados a partir de la promulgación de esta ley, establecerá el Plan Nacional de Forestación por un lapso de cinco años, el que será actualizado anualmente al 30 de noviembre introduciéndose las modificaciones de acuerdo a la experiencia recogida en años anteriores. Dicho documento contendrá las metas a alcanzar por año, entre las cuales se incluirá la cantidad de hectáreas a forestar.

#### **Artículo 57**

Anualmente y dentro de los treinta días siguientes a la aprobación o actualización del Plan Nacional de Forestación, la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca elaborará y publicará un programa de promoción a las actividades forestales.

#### CAPITULO IV - PRENDA DE BOSQUES

#### **Artículo 58**

Inclúyense a las plantaciones forestales y a los bosques, dentro de los bienes sobre los que puede recaer el contrato de prenda rural o agraria dispuesto por la ley 5.649, de 21 de marzo de 1918.

Notas:

Redacción dada por: Ley N° 16.320 de 01/11/1992 artículo 195.

TEXTO ORIGINAL: Ley N° 15.939 de 28/12/1987 artículo 58.

#### **Artículo 59**

Para la constitución de prenda sobre bosques por el propietario del bien a que están adheridos en caso de existir hipoteca sobre éste, será necesario el consentimiento del acreedor hipotecario.

#### **Artículo 60**

El contrato de prenda establecido en los artículos precedentes además de dar cumplimiento a lo establecido en la ley 5.649, de 21 de marzo de 1918, deberá inscribirse en el Registro General de Bosques de la Dirección Forestal en la forma y condiciones que establezca la reglamentación que se dicte.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 451/988 de 06/07/1988.

#### **Artículo 61**

La venta de madera y demás productos forestales extraídos de un bosque afectado por el derecho real de prenda, podrá ser realizada previa aprobación de la Dirección Forestal (artículos 62 y 63), cuando se cumplan las etapas y turnos previstos en el plan de manejo respectivo,

por quien tenga el derecho a la explotación del bosque, pero éste no podrá hacer tradición de tales productos, sin el pago previo al titular del derecho real de prenda de los valores a cuyo reembolso se encuentran aquellos afectados, o mediando su consentimiento, el cual deberá hacerse constar al margen de las inscripciones en los Registros respectivos.

#### **Artículo 62**

En caso de ejecución de la prenda que afecta a un bosque, el adquirente deberá respetar el plan de explotación y manejo establecido para el mismo y aprobado por la Dirección Forestal.

#### **Artículo 63**

Cuando se produjere la ejecución de la prenda que afecta un bosque el titular del predio en que se encuentra implantado el mismo, deberá permitir al adquirente el acceso al inmueble en forma que posibilite el cumplimiento del plan de explotación y manejo aprobado por la Dirección Forestal, constituyéndose las servidumbres de paso necesarias para ello. Esta obligación del titular del predio, y las servidumbres que se constituyan se extinguirán a los dos años de finalización del turno de explotación establecido en el plan de explotación y manejo aprobado por la Dirección Forestal.

#### **Artículo 64**

No regirá a los efectos de esta ley el inciso segundo del artículo 4º de la ley 5.649, de 21 de marzo de 1918.

### TITULO VI - FOMENTO A LAS EMPRESAS FORESTALES

#### **Artículo 65**

Los productores y empresas rurales, industriales o agroindustriales dedicados a la forestación, explotación o industrialización de maderas de producción nacional gozarán durante quince años, desde la promulgación de esta ley, de las facilidades establecidas en el artículo 66, para las siguientes actividades:

- A) Producción de plantas forestales, plantaciones y manejos de bosques;
- B) Explotaciones de madera o utilización de otros productos del bosque;
- C) Elaboración de la madera para la producción de celulosa pasta, papeles y cartones, madera aserrada, madera terciada y chapas de madera, tableros de fibra de madera y de madera aglomerada, destilación de la madera;
- D) Preservación y secamiento de la madera;
- E) Utilización de productos forestales como materia prima en la industria química o generación de energía.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 457/989 de 27/09/1989.

### **Artículo 66**

El Poder Ejecutivo, a propuesta del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, podrá exonerar la importación de materias primas necesarias para el procesamiento de madera de producción nacional, equipos, maquinaria, vehículos utilitarios e implementos que se requieran para la instalación y funcionamiento de estas empresas, de todos o parte de los siguientes tributos y tasas: derechos adicionales y demás gravámenes aduaneros, incluso el impuesto a las importaciones; proventos y tasas portuarias; recargos, depósitos previos y consignaciones, así como cualquier otro gravamen a la importación o aplicado en ocasión de la misma. Será condición indispensable para el otorgamiento de la franquicia:

A) Que las materias primas, equipos, maquinarias, vehículos utilitarios e implementos a importar no sean producidos normalmente en el país, en condiciones adecuadas de calidad y precio;

B) Que la actividad realizada por la empresa beneficiada sea compatible con los fines generales de la política forestal.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 457/989 de 27/09/1989.

### **Artículo 67**

Agrégase a los cometidos que corresponde a la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland de acuerdo con la ley 8.764, de 15 de octubre de 1931, y sus modificativas, el siguiente:

La investigación sobre el mejor aprovechamiento de la madera producida en el país como fuente de energía.

## **TITULO VII - PROCEDIMIENTOS, CONTROLES Y SANCIONES**

### **Artículo 68**

Los recursos administrativos que se interpongan contra las resoluciones que denieguen o eliminen los beneficios tributarios o de financiamiento establecidos en los Capítulos I y II del Título V de esta ley, tendrán efecto suspensivo.

Notas:

Reglamentado por: Decreto N° 247/989 de 24/05/1989.

### **Artículo 69**

Las violaciones o infracciones a las disposiciones legales y reglamentarias en materia forestal serán sancionadas con multas que se graduarán, atendiendo a la importancia de la infracción, entre un décimo y cincuenta veces el monto ficto de forestación por hectárea, vigente al momento de consumarse la infracción, sin perjuicio de las acciones civiles



y penales a que el hecho dé lugar. La Dirección Forestal y la Dirección General de Recursos Naturales Renovables tendrán a su cargo la comprobación de las infracciones.

La Dirección General y Contralor Agropecuario del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca tendrá a su cargo la determinación, imposición y ejecución de las sanciones correspondientes, de conformidad con los procedimientos previstos en la Ley N° 10.940 de 19 de setiembre de 1947.

Notas:

Inciso 1º) redacción dada por: Ley N° 16.170 de 28/12/1990 artículo 271.

TEXTO ORIGINAL: Ley N° 15.939 de 28/12/1987 artículo 69.

#### **Artículo 70**

El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, a propuesta de la Dirección Forestal, podrá implementar los mecanismos que se requieran a efectos de recabar la información necesaria para realizar los controles que el cumplimiento de la aplicación de las disposiciones de la presente ley requiera, pudiendo exigir para ello la formulación de declaraciones juradas.

#### TITULO VIII - DISPOSICIONES FINALES

#### **Artículo 71**

Este artículo dio nueva redacción a: Decreto Ley N° 14.189 de 30/04/1974 artículo 85 numeral 2º).

#### **Artículo 72**

Todos los peritajes o tasaciones de carácter judicial o administrativo en la materia regulada por esta ley, serán de competencia exclusiva de ingenieros agrónomos o ingenieros agrimensores, en sus materias.

#### **Artículo 73**

La presente ley es de orden público.

#### **Artículo 74**

El Poder Ejecutivo reglamentará la presente ley dentro de los ciento veinte días a partir de su promulgación.

#### **Artículo 75**

Derógase la ley 13.723, de 16 de diciembre de 1968, así como toda otra norma que se oponga a lo dispuesto en la presente ley.

#### **Artículo 76**

Comuníquese, etc.

## Decreto N° 452/988

Visto: lo dispuesto en el artículo 74 de la ley 15.939, de 28 de diciembre de 1987.

Resultando: conforme a la citada disposición se cometió al Poder Ejecutivo la reglamentación del precitado texto legal.

Considerando: corresponde dar cumplimiento a lo establecido en dicha norma proceder a la reglamentación correspondiente a los principios generales contenidos en la misma, sin perjuicio del dictado de otras normas reglamentarias en los aspectos específicos que así lo requieran.

Atento: a los fundamentos expuestos, al ordinal 4 del artículo 168 de la Constitución de la República y al Art. 74 de la ley 15.939, de 28 de diciembre de 1987,

El Presidente de la República

DECRETA:

DE LOS BOSQUES

### **Artículo 1**

Concepto de bosques. A los efectos de la aplicación de la ley 15.939, de 28 de diciembre de 1987 y de su reglamentación, se considerarán bosques, aquellas asociaciones vegetales que además de las características establecidas en el artículo 4 de la referida ley, tengan una superficie mínima de 2.500 metros cuadrados.

DE LOS TERRENOS FORESTALES

### **Artículo 2**

(Declaración de terrenos forestales). De conformidad con lo establecido en el artículo 5 de la ley 15.939, de 28 de diciembre de 1987, designase como terrenos forestales, los comprendidos en las siguientes zonas o grupos de suelos:

a) \*

b) \*

c) grupos de suelos según clasificación CONEAT 2.11a, 2.12, 2.14, 5.01c, 5.02a, todos los 7, 07.1, 8.1, 8.02a, 8.02b, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.10, 8.11, 8.12, 8.14, 8.15, 8.16, 9.1, 9.2, 9.3, 9.42, 9.7, 9.8, 9.9, 09.2, 09.3, S09.10.

Se incluyen los grupos de suelos 2.11b y 2.20, cuando el proyecto presentado complementa la producción forestal con la adecuada diversificación agrícola ganadera. Se incluyen también aquellos suelos

de los Grupos CONEAT: 4.2 a condición de que sean utilizados en sistemas agroforestales y se ejecute un plan de recuperación de cárcavas.

d) se incluyen asimismo los grupos de suelos CONEAT 07.2, 8.9, 8.13 y s09.11 en aquellos casos en que habiendo mediado solicitud de parte interesada ante la Dirección General Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, se hubiera determinado que el proyecto forestal presentado -previo informe de la División Suelos y Aguas de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca- complementa la producción forestal con la adecuada diversificación agrícola o ganadera.

Notas:

Literales a) y b) derogado/s por: Decreto N° 191/006 de 16/06/2006 artículo 1.

Literales c) y d) redacción dada por: Decreto N° 220/010 de 14/07/2010 artículo 1.

Literal c) redacción dada anteriormente por:

Decreto N° 191/006 de 16/06/2006 artículo 2,  
Decreto N° 26/993 de 12/01/1993 artículo 1.

Literal d) redacción dada anteriormente por:

Decreto N° 220/006 de 10/07/2006 artículo 1,  
Decreto N° 191/006 de 16/06/2006 artículo 3.

TEXTO ORIGINAL:

Decreto N° 220/006 de 10/07/2006 artículo 1,  
Decreto N° 191/006 de 16/06/2006 artículos 2 y 3,  
Decreto N° 26/993 de 12/01/1993 artículo 1,  
Decreto N° 452/988 de 06/07/1988 artículo 2.

### **Artículo 3**

(Concepto de aptitud forestal). Para determinar la aptitud forestal de un suelo se tendrá presente que sus condiciones permitan un buen crecimiento de los bosques, con una buena capacidad de enraizamiento y adecuado drenaje y que sean de baja fertilidad natural.

### **DE LA CALIFICACION DE LOS BOSQUES PARTICULARES**

### **Artículo 4**

(De la calificación). Los bosques particulares se calificarán según sus fines de acuerdo a lo establecido en el artículo 8° de la ley que se reglamenta.

Dicha calificación será efectuada por la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.

a) a su iniciativa en los siguientes casos:

1. Cuando se trate de bosques comprendidos en una zona designada para la forestación obligatoria, de acuerdo con el artículo 12 de la ley 15.939.

2. Cuando se trate de exigir el cumplimiento de las normas establecidas para la protección de bosques en el Título IV. Capítulo I de la ley 15.939 y su respectiva reglamentación; y

3. Cuando así lo requiera el cumplimiento de planes de desarrollo aprobados por los organismos competentes en la materia.

b) a solicitud de parte interesada, la que deberá dar cumplimiento a lo establecido en el inciso final del artículo 8° de la ley 15.939.

### **Artículo 5**

(De los requisitos para la calificación). La calificación de los bosques deberá ajustarse a los siguientes requisitos:

I) Para determinar el carácter de protector de un bosque se tendrá presente:

a) si el mismo cumple una función de preservación de la erosión o de otros recursos naturales renovables o de regulación de las cuencas hídricas, de consecuencia regionales. La valoración de esos elementos será realizada por la Dirección Forestal, ajustándose a un criterio de conservación general; o b) si se encuentra ubicado en los terrenos forestales establecidos en los literales a y b del Art. 2° del presente. c) si es parte de los bosques de servicio de un predio agropecuario con una superficie máxima del 8% del total del predio.

II) Para establecer que un bosque es de rendimiento se tendrán en cuenta las siguientes características:

a) su aptitud para la producción de materias leñosas o aleñosas, cuya utilización reviste interés nacional, con aquellas especies que se demuestren técnicamente aptas para tales efectos.

b) su ubicación en las zonas designadas como terrenos forestales por el literal c) del artículo 2° de este Decreto.

c) su extensión, que no podrá ser inferior a las 10 (diez) hectáreas;

y

d) (\*)

III) Se entenderá que son bosques generales, todos aquellos que por sus características no puedan ser calificados como protectores o de rendimiento.

Notas:

Literal d) numeral II) redacción derogada por: Decreto N° 154/005 de 09/05/2005 artículo 1.

Literal a) numeral II) redacción dada por: Decreto N° 191/006 de 16/06/2006 artículo 4.

Ver vigencia: Decreto N° 190/006 de 16/06/2006 artículo 1.

Literal c) numeral I) agregado/s por: Decreto N° 191/006 de 16/06/2006 artículo 5.

Literal d) numeral II) redacción dada anteriormente por: Decreto N° 333/990 Derogada/o de 25/07/1990 artículo 1.

TEXTO ORIGINAL: Decreto N° 452/988 de 06/07/1988 artículo 5.

### **Artículo 6**

(De la notificación). La resolución por la que se califique un bosque, deberá ser notificada personalmente al titular del predio o de la explotación donde se asiente, en la forma prevista por el artículo 48 y ss. del decreto 640/978, de 8 de agosto de 1973.

### **Artículo 7**

(De los proyectos o informes). A efectos de la calificación de un bosque, el propietario o explotante a cualquier título, está obligado a presentar el respectivo proyecto de manejo y ordenación para las operaciones culturales, de explotación y regeneración del bosque, de acuerdo con las disposiciones legales y reglamentarias vigentes en la materia. Queda asimismo, sujeto a lo dispuesto por el Título IV, Capítulo I de la ley 15.939 en materia de protección de bosques, y en su caso, a las disposiciones especiales que rijan la situación que dio mérito a la calificación.

### **Artículo 8**

(Presentación y Requisitos). El informe o proyecto de forestación deberá presentarse de acuerdo con los instructivos que confeccionará al efecto, la Dirección Forestal, ajustándose a las exigencias que esta imponga. Los interesados deberán aportar entre otros elementos los que a mero título enunciativo se indican a continuación: planos de mensura, fotos aéreas, análisis de suelos, plan de prevención de incendios, certificado notarial que acredite la vinculación jurídica con el predio.

### **Artículo 9**

(Registro). La Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, llevará un Registro, en donde se inscribirán los bosques que sean calificados por la misma. La inscripción en el Registro será preceptiva a los efectos de ampararse en los beneficios tributarios y de financiamiento previstos en la ley 15.939, así como para realizar cualquier gestión ante dicha Dirección, relativa a la formación, conservación, manejo o explotación de bosques.

### **Artículo 10**

(Inspecciones). La Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca podrá practicar inspecciones a los efectos de la certificación del área ocupada por el bosque o la plantación respectiva, así como su estado u operaciones de manejo a que será sometido.

#### DE LA FORESTACION OBLIGATORIA

### **Artículo 11**

(Plantación obligatoria - Terrenos del Estado).

Declárase obligatoria la plantación de bosques en los terrenos forestales establecidos en el Art. 2, literales a y b del presente Decreto cuyo propietario u ocupante, a cualquier título, sea el Estado, los Entes Autónomos, Servicios Descentralizados o Gobiernos Departamentales, siempre que tales terrenos presenten una superficie mínima continua de 10 (diez) hectáreas.

### **Artículo 12**

(Plazos). La forestación dispuesta precedentemente, deberá ser iniciada, preceptivamente, dentro del plazo de un año a contar de la fecha del presente Decreto, acordándose un término máximo de cinco años para la plantación total del predio. La misma se realizará por cuenta de las entidades propietarios u ocupantes, a través de convenios con terceros y estará amparada, cuando corresponda, por los beneficios tributarios y de financiamiento previstos por la ley 15.939 de 28 de diciembre de 1987. No obstante, no podrán hacer uso de créditos especiales para forestación aquellas entidades que por disposición de las leyes que regulan su organización y funcionamiento deben mantener fondos de reserva o inversión.

#### DEL PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO

### **Artículo 13**

(Registro de Bosques). A efectos de la calificación del Patrimonio Forestal del Estado, se observarán los mismos requisitos y disposiciones establecidas para la calificación de los bosques particulares, en cuanto resulten aplicables.

#### DE LA PROTECCION DE LOS BOSQUES PARTICULARES

### **Artículo 14**

(Principio General). Queda prohibida la corta y cualquier operación que atente contra la supervivencia del monte indígena y la destrucción de los bosques protectores artificiales.

### **Artículo 15**

(Corta del monte indígena para uso doméstico). A los efectos del literal a) del Art. 24 de la ley 15.939, se considerará que el producto de la



explotación se destina al uso doméstico, cuando se le utilice para la generación de calor, cocción de alimentos y construcciones rústicas en el establecimiento.

**Artículo 16**

(Corta del monte indígena). A los fines de la autorización prevista en el literal B) del artículo 24, los interesados deberán presentarse ante la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, acompañando un informe técnico con las razones que motivan la corta o cualquier operación proyectada y el plan de explotación a efectuar.

En las tierras con capacidad de uso agrícola correspondientes a planicies y terrenos ondulados, no susceptibles de inundación, la Dirección General de Recursos Naturales Renovables podrá autorizar la corta, en los casos en que el monte limite su mejor aprovechamiento y que no medien razones de conservación de comunidades o especies arbóreas, mantenimiento de ecosistemas o razones de interés general.

Notas:

Redacción dada por: Decreto N° 24/993 de 12/01/1993 artículo 1.

TEXTO ORIGINAL: Decreto N° 452/988 de 06/07/1988 artículo 16.

DE LA PROTECCION DEL PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO

**Artículo 17**

(De la protección). Los bosques y terrenos forestales pertenecientes al Patrimonio Forestal del Estado, se regirán por las normas de protección mencionadas precedentemente en lo aplicable.

DE LAS PLANTACIONES LINDERAS

**Artículo 18**

No podrán ponerse plantas o árboles sobre el cerco divisorio, sino de común acuerdo entre los linderos (inciso 1 artículo 20 del Código Rural).

Cuando la divisoria sea una pared medianera, se podrán hacer plantaciones para formar espalderas que no podrán sobrepasar la altura de la pared (inciso segundo artículo 20 del Código Rural).

No podrán utilizarse con este fin especies que por sus raíces invasoras puedan afectar los cultivos o construcciones vecinas.

**Artículo 19**

Podrán plantarse setos vivos a una distancia mínima de un metro cincuenta centímetros de la línea divisoria, con una altura máxima de dos metros y sin que las ramas laterales pasen el límite de la propiedad.

**Artículo 20**

Los árboles frutales deberán estar a una distancia mínima de cinco metros de la línea divisoria entre predios vecinos.

### **Artículo 21**

Las cortinas protectoras o de reparto no podrán tener más de siete metros de altura; regirá a su respecto la distancia mínima de cinco metros de la línea divisoria, salvo las ubicadas en el límite Sur de los predios, en cuyo caso dicha distancia será de diez metros.

### **Artículo 22**

Los montes forestales de cualquier naturaleza, públicos o privados, estarán situados a una distancia mínima de doce metros de la línea divisoria entre predios vecinos. Sobre el lado Sur la distancia mínima será de veinticinco metros.

### **Artículo 23**

En los casos establecidos en los Art. 21 y 22 del presente Decreto, si el vecino entendiera que las plantaciones, aun en las condiciones indicadas, pueden perjudicar la propiedad someterá la cuestión a Resolución de la Dirección Forestal que determinará si existe o no daño y si existiere, fijará la distancia mínima a que deberá quedar la plantación.

### **Artículo 24**

Tratándose de líneas divisorias con caminos públicos, las plantaciones, cualquiera sea su clase, estarán ubicadas hasta una distancia mínima de cinco metros de la divisoria.

### **Artículo 25**

Cuando se trate de plantaciones de especies que invaden con sus raíces cultivos vecinos afectando los mismos tales como el álamo negro (*Populus tremuloides*), álamo plateado (*Populus alba* var), Espino de monte (*Gleditsia triacanthos*), olmos (*Ulmus* sp.) las mismas solo podrán realizarse observando una distancia mínima de treinta metros, con respecto a los predios linderos.

### **Artículo 26**

En los casos en que se produzca invasión de áreas cultivadas por especies plantadas en bosques o cercos pertenecientes a predios limítrofes, constituyendo un perjuicio para los cultivos, el propietario de aquellos tendrá a su cargo la limpieza correspondiente.

### **Artículo 27**

Comuníquese, etc.