



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO DE UNA PLANTACIÓN DE  
PINUS RADIATA D. DON, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN  
LA COMUNIDAD DE TOTORAS, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN  
ALAUÍS, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

**EDWIN ROCENDO NOVOA GUAJAN**

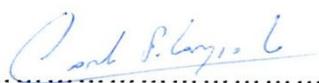
**RIOBAMBA - ECUADOR**

**2016**

## HOJA DE CERTIFICACIÓN

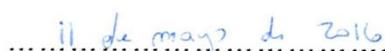
EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que en el trabajo de investigación titulado: **DETERMINACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO DE UNA PLANTACIÓN DE PINUS RADIATA D. DON, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA COMUNIDAD DE TOTORAS, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO** de responsabilidad del señor Edwin Rocendo Novoa Guajan, se realizó las correcciones respectivas y el estudiante puede efectuar la sustentación del mismo.

### TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN

1. 

Ing. Carlos Capiro

**Director**



Fecha

2. 

Ing. Paulina Díaz

**Asesora**



Fecha

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Edwin Rocendo Novoa Guajan declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 27 de abril del 2016



**Edwin Rocendo Novoa Guajan**

171703013-2

## **AUTORÍA**

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual del autor y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto de tesis a Dios quien me guio hacia el éxito, por darme fuerzas para seguir adelante y no rendirme en las adversidades que se presentaron, y enseñándome a enfrentar cualquier reto sin perder nunca la fe.*

*A mis padres Manuel Novoa y María Delfina Guajan por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor y por su paciencia conmigo en este largo caminar. Porque ellos me han dado todo, mis valores, mi empeño, mi perseverancia y el coraje para no rendirme y alcanzar todos los objetivos.*

*A mis hermanos Manolo Novoa y Kathy Novoa que siempre me apoyaron y que también fueron mi motivación. A mí querido hermano Polo Novoa que desde el principio estuvo en este largo camino apoyándome y motivándome en todo momento.*

*A la mujer que Dios me permite amar que desde que llego a mi vida ha sido mi bendición, ya que siempre ha estado en las malas y buenas decisiones que tome apoyándome incondicionalmente dándome aliento y fortaleza a no rendirme para alcanzar mi metas, y que ha sido mi motivación, inspiración y felicidad. ¡Ivon!*

*“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperas” **Thomas Chalmers***

***“Si Dios conmigo quien contra mi”***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la vida que me da todos los días y las miles de bendiciones que él me ha brindado, al el que con su infinito amor me ha guiado hacia el éxito, brindándome la sabiduría suficiente para poder culminar mis estudios superiores.

También agradezco a mi familia, a mi padre Manuel Novoa, mi madre María Delfina Guajan por todo el esfuerzo posible que hicieron para darme una profesión y ser un hombre de bien, a mis hermanos, a mi hermana; por darme todo el apoyo y fuerza incondicional que me ayudo a llegar al éxito. Además a un buen amigo por sus palabras de motivación y fortaleza Iván C.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a través de la Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal por darme la oportunidad de estudiar en tan ilustre institución y formarme como profesional.

De igual manera agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo a través del proyecto “Caracterización Biogeográfica parroquia Achupallas” por las facilidades brindadas con el equipamiento y la información requerida para realizar el presente trabajo de investigación.

Y también a todos mis compañeros de clase con los que culminamos los estudios superiores, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas, además a todos mis amigos presentes, pasados y a aquella persona especial en mi vida que durante este largo caminar estuvo siempre a mi lado apoyándome para lograr este sueño se haga realidad.

Gracias a todos

## TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS .....	iv
LISTA DE MAPAS .....	vi
LISTA DE GRAFICOS .....	vii
I. DETERMINACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO DE UNA PLANTACIÓN DE PINUS RADIATA D. Don, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA COMUNIDAD DE TOTORAS, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO .....	1
II. INTRODUCCIÓN .....	1
A. JUSTIFICACIÓN .....	2
B. OBJETIVOS .....	3
1. Objetivo General .....	3
2. Objetivos Específicos.....	3
C. HIPÓTESIS .....	4
1. Hipótesis Nula .....	4
2. Hipótesis Alternante .....	4
III. MARCO TEÓRICO .....	5
A. FISIOLOGÍA DE LA PLANTA .....	5
B. FISIOLOGÍA DE <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	6
1. <i>Pinus radiata</i> D. Don .....	6
2. Características.....	6
3. Aspectos fitosanitarios.....	7
C. FACTORES QUE PUEDEN CAUSAR EL ESTRÉS EN UNA PLANTACIÓN DE <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	7
D. AGRICULTURA DE PRECISIÓN .....	9
E. ÍNDICES DE VEGETACIÓN .....	11
1. Fundamento .....	11
a. Estructura básica de la hoja .....	11
b. Comportamiento espectral de la hoja .....	12

F. TELEDETECCIÓN.....	15
a. Teledetección forestal y <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	16
G. ENVI + IDL 5.0.....	17
1. Características.....	17
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	19
1. Localización .....	19
2. Características Climáticas .....	19
3. Clasificación Ecológica .....	19
4. Ubicación geográfica.....	19
B. MATERIALES .....	27
1. Materiales de campo.....	27
2. Materiales de oficina .....	27
C. METODOLOGÍA .....	27
1. Determinación del estado fisiológico en campo mediante la evaluación convencional.....	27
a. Georreferenciación de la plantación de <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	27
b. Diseño de muestreo .....	27
c. Medición de variables dasométricas.....	29
1) Diámetro y altura.....	29
2) Instrucciones para el llenado del Formulario .....	26
3) Calculo del coeficiente de Variación.....	28
2. Evaluación del estado fisiológico utilizando el software ENVI + IDL 5.0..	29
a. Realizar el recorte de la plantación de <i>Pinus radiata</i> D. Don en la imagen Rapideye. ....	29
b. Calculo del NDVI con el software ENVI 5.0.....	31
c. Evaluación de las parcelas monitoreadas en campo en la imagen Rapideye. ....	33
3. Validación del estado fisiológico generado en ENVI 5.0 a partir de una comparación con los datos obtenidos en campo mediante la evaluación convencional.....	34
V. RESULTADOS.....	37
A. DETERMINACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO EN CAMPO MEDIANTE LA EVOLUCIÓN CONVENCIONAL.....	37

1. Georreferenciar la plantación <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	37
2. Medición de variables cuantitativas de medida .....	40
3. Evaluación de estado fisiológico de la Plantación de <i>Pinus radiata</i> D. Don .....	45
B. EVALUACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO UTILIZANDO EN EL SOFTWARE ENVI + IDL 5.0.....	55
1. Realizar el recorte de la plantación de <i>Pinus radiata</i> D. Don en la imagen rapideye con la ayuda del software ENVI 5.0 y ArcMap 10.3.....	55
2. Calcular el NDVI con la ayuda del software ENVI 5.0.....	58
3. Análisis del NDVI de los píxeles de las parcelas monitoreadas en campo .....	62
C. VALIDACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO GENERADO EN ENVI 5.0 A PARTIR DE UNA COMPARACIÓN CON LOS DATOS OBTENIDOS EN CAMPO MEDIANTE LA EVALUACIÓN CONVENCIONAL .....	63
VI. CONCLUSIONES.....	71
VII. RECOMENDACIONES .....	73
VIII. RESUMEN .....	74
IX. SUMMARY.....	75
X. BIBLIOGRAFÍA .....	76
XI. ANEXOS.....	81

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cálculo de intensidad de muestreo .....	28
<b>Tabla 2.</b> Uso de la especie.....	26
<b>Tabla 3.</b> Estado del árbol .....	27
<b>Tabla 4.</b> Calidad de fuste .....	27
<b>Tabla 5.</b> Condiciones fitosanitario .....	27
<b>Tabla 6.</b> Grado de condición fitosanitario.....	28
<b>Tabla 7.</b> Dominancia.....	28
<b>Tabla 8.</b> Criterios de calificación de calidad de una parcela o plantación, con base en el coeficiente de variación .....	29
<b>Tabla 9.</b> Valores del NDVI de los píxeles de las parcelas .....	33
<b>Tabla 10.</b> Medidas de resumen de la estadística descriptiva de los píxeles.....	34
<b>Tabla 11.</b> Análisis estadístico .....	34
<b>Tabla 12.</b> Valoración de datos .....	36
<b>Tabla 13.</b> Comparación datos de campo e imagen satelital.....	36
<b>Tabla 14.</b> Ubicación de la plantación y datos de las parcelas establecidas.....	37
<b>Tabla 15.</b> Variables dasométricas de la parcela P 001: clases diamétricas y volumen total. ....	40
<b>Tabla 16.</b> Variables dasométricas de la parcela P004 clases diamétricas y volumen total. ....	40
<b>Tabla 17.</b> Variables dasométricas de la parcela P 005: clases diamétricas y volumen total. ....	41
<b>Tabla 18.</b> Variables dasométricas de la parcela P007: clases diamétricas y volumen total. ....	42
<b>Tabla 19.</b> Variables dasométricas de la parcela P002: clases diamétricas y volumen total. ....	42
<b>Tabla 20.</b> Variables dasométricas de la parcela P003: clases diamétricas y volumen total. ....	43
<b>Tabla 21.</b> Variables dasométricas de la parcela P008: clases diamétricas y volumen total. ....	44
<b>Tabla 22.</b> Variables dasométricas de la parcela P006: clases diamétricas y volumen total. ....	44

<b>Tabla 23.</b> Volumen de madera <i>Pinus radiata</i> D. Don por parcelas de 500 m <sup>2</sup> estudiada en la provincia de Chimborazo, Cantón Alausi, parroquia Achupallas, Comunidad Cobshe Alto. ....	45
<b>Tabla 24.</b> Estado sanitario de la parcela P001, según metodología MAE/FAO 2012 ...	46
<b>Tabla 25.</b> Estado sanitario de la parcela P004, según metodología MAE/FAO 2012 ...	47
<b>Tabla 26.</b> Estado sanitario de la parcela P005, según metodología MAE/FAO 2012 ...	47
<b>Tabla 27.</b> Estado sanitario de la parcela P007, según metodología MAE/FAO 2012 ...	48
<b>Tabla 28.</b> Estado sanitario de la parcela P002, según metodología MAE/FAO 2012 ...	48
<b>Tabla 29.</b> Estado sanitario de la parcela P003, según metodología MAE/FAO 2012 ...	49
<b>Tabla 30.</b> Estado sanitario de la parcela P008, según metodología MAE/FAO 2012 ...	50
<b>Tabla 31.</b> Estado sanitario de la parcela P006, según metodología MAE/FAO 2012 ...	50
<b>Tabla 32.</b> Calidad de la parcela P001 en base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y altura comercial. ....	51
<b>Tabla 33.</b> Calidad de la parcela P004 en base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial.....	52
<b>Tabla 34.</b> Calidad de la parcela P005 con base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial.....	52
<b>Tabla 35.</b> Calidad de la parcela P007 con base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial.....	53
<b>Tabla 36.</b> Calidad de la parcela P002 con base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial.....	53
<b>Tabla 37.</b> Calidad de la parcela P003 con base a los coeficientes de variación del DAP, de la altura total y de la altura comercial. ....	54
<b>Tabla 38.</b> Calidad de la parcela P008 con base a los coeficientes de variación del DAP, de la altura total y de la altura comercial. ....	54
<b>Tabla 39.</b> Calidad de la parcela P006 con base a los coeficientes de variación del DAP, de la altura total y de la altura comercial. ....	55
<b>Tabla 40.</b> Análisis estadístico de las parcelas en campo.....	63
<b>Tabla 41.</b> Comparación de los datos de campo y con la imagen satelital.....	67

**LISTA DE MAPAS**

<b>Mapa 1.</b> Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio.....	38
<b>Mapa 2.</b> Mapa de ubicación de las parcelas y puntos de muestreo.....	39
<b>Mapa 3:</b> Plantación de <i>Pinus radiata</i> D. Don recorta en la imagen rapideye .....	57
<b>Mapa 4.</b> NDVI – Plantación <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	58
<b>Mapa 5.</b> NDVI de la plantación de <i>Pinus radiata</i> D. Don y la distribución de parcelas	59

## LISTA DE GRAFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Diagrama de la sección transversal de la hoja típica .....	12
<b>Gráfico 2.</b> Espectro de Absorción para la clorofila.....	13
<b>Gráfico 3.</b> Reflectancia Espectral típica de una hoja viva .....	13
<b>Gráfico 4.</b> Las diferencias entre las clases de vegetación se distinguen mejor en el infrarrojo que en el visible .....	14
<b>Gráfico 5.</b> Cambios en el contenido de agua de la hoja deben ser pronunciados en la región del infrarrojo cercano. Este diagrama ilustra diferencias en la reflectancia entre la película de agua equivalente de 0.018 cm y 0.014 cm; cambios en la reflectancia.....	14
<b>Gráfico 6.</b> Mayores influencias en las propiedades espectrales de la hoja viva .....	15
<b>Gráfico 7.</b> Formulario de campo. ....	25
<b>Gráfico 8.</b> Imagen Rapideye en ArcGis 10.3 .....	30
<b>Gráfico 9.</b> Área de la plantación sobre la imagen Rapideye .....	30
<b>Gráfico 10.</b> Recorte del área de la plantación en la imagen Rapideye .....	31
<b>Gráfico 11.</b> Generar el NDVI.....	32
<b>Gráfico 12.</b> Análisis de datos .....	33
<b>Gráfico 13.</b> Software SAMS compilado en JAVA .....	35
<b>Gráfico 14.</b> Imagen rapideye de la plantación .....	55
<b>Gráfico 15.</b> Área de la plantación a recorta en la imagen rapideye .....	56
<b>Gráfico 16.</b> NDVI P007 - Buen Estado .....	60
<b>Gráfico 17.</b> NDVI P006 - Mal Estado .....	61
<b>Gráfico 18.</b> Radio de la parcela.....	62
<b>Gráfico 19.</b> Radio de píxeles a evaluar .....	62
<b>Gráfico 20.</b> Firma espectral parcelas en buen estado.....	64
<b>Gráfico 21.</b> Firma espectral parcelas mal estado .....	65
<b>Gráfico 22.</b> Firma espectral de medias de las parcelas sanas y enfermas.....	66

# **I. DETERMINACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO DE UNA PLANTACIÓN DE PINUS RADIATA D. Don, MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA COMUNIDAD DE TOTORAS, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

## **II. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de la teledetección y su utilidad para la medida de magnitudes representativas de las características de una superficie, se fundamentan en una correcta descripción de la interacción de la radiación electromagnética con el propio suelo y la vegetación que lo recubre. Probablemente la magnitud utilizada con más frecuencia en el estudio de la vegetación es su reflectividad espectral y se han hecho grandes esfuerzos encaminados a poner de manifiesto los factores físicos, fisiológicos, geométricos, etc., que determinan los diferentes valores que de ella se obtienen. Con base en las medidas de reflectividad espectral los sistemas actuales de teledetección permiten obtener una gran cantidad de información de carácter fisiológico: presencia de vegetación; tipo de vegetación o de cultivo; cantidad de materia vegetal; estado de las plantas y posibles carencias (Cabello & Paruelo, 2008).

No obstante, cualquiera que sea el método de estudio seguido para determinar estos u otros parámetros de interés forestal, se necesita conocer la asignatura espectral de la superficie que se obtiene de las medidas realizadas en las diferentes bandas espectrales en que trabajan los distintos equipos de espectro radiometría.

Estos índices están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espacio temporales del comportamiento de la vegetación. La teledetección nos brinda herramientas que nos ayuda a evaluar el estado fisiológico general de una plantación basándonos en la variación que presenta los píxeles de una vegetación sana y enferma (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997).

## A. JUSTIFICACIÓN

La Teledetección, entendida como el conjunto de técnicas para obtener información a partir de imágenes de satélite, constituye hoy día un instrumento importante al servicio del medio ambiente. A lo largo de los últimos años, las imágenes tomadas con sensores satelitales han contribuido a la realización de inventarios para el seguimiento de múltiples parámetros de interés ambiental. Entre las ventajas que ofrece la Teledetección, destaca su alta periodicidad temporal, por lo que se facilita el seguimiento de aquellas variables sometidas a una intensa dinámica. Además, este instrumento brinda la posibilidad de obtener información de grandes superficies de territorio en poco tiempo, de tal manera que extensas regiones como la de la Comunidad Totoras, pueden ser muestreadas en su totalidad en pocos días. Por otra parte, recientemente se han llevado a cabo avances tecnológicos y operativos que han facilitado el suministro de imágenes de mayor resolución espacial, lo que permite el desarrollo de aplicaciones más próximas a la gestión y toma de decisiones a diversas escalas de trabajo.

En este sentido, la presente investigación sobre el estado fisiológico de una plantación de *Pinus radiata* D. Don, usa estas técnicas de teledetección, que nos ayudara a tener una visión sintética e integradora de determinadas variables como la cantidad de materia vegetal; estado fisiológico de las plantas y posibles carencias, de tal manera sirvan de apoyo en el desarrollo ambiental y forestal en las diferentes regiones del país, ya que un monocultivo como el pino es abandonado si el mismo se encuentra en áreas vulnerables y mucho menos se preocupan de problemas fitosanitarios de bosques naturales, en conjunto se busca optimizar el tiempo de trabajo y recursos, al tener una idea previa del estado fisiológico de la plantación, aplicando metodologías de procesado de imágenes satelitales en nuestra área de estudio, cuales nos permita generar mapas en los que se pueda diferenciar las áreas que se hallan sanas o enfermas de la plantación, mediante la diferenciación de los niveles de reflectancia de los píxeles que conforman la imagen, mismas que serán validadas en campo, para finalmente ajustar los procesos utilizados.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo General**

Determinar el estado fisiológico de una plantación de *Pinus radiata* D. Don, mediante técnicas de teledetección en la comunidad de Totoras, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

### **2. Objetivos Específicos**

- a. Determinar el estado fisiológico en campo mediante la evaluación convencional
- b. Evaluar el estado fisiológico utilizando el software ENVI + IDL 5.0
- c. Validar el estado fisiológico generado en ENVI 5.0 a partir de una comparación con los datos obtenidos en campo mediante la evaluación convencional.

## **C. HIPÓTESIS**

### **1. Hipótesis Nula**

No se puede determinar el estado fisiológico de una plantación mediante técnicas de teledetección.

### **2. Hipótesis Alternante**

Se puede determinar el estado fisiológico de una plantación mediante técnicas de teledetección.

### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **A. FISIOLOGÍA DE LA PLANTA**

La Fisiología Vegetal es una de las múltiples ramas de la Biología y al igual de otras ramas, estudia los procesos de la vida, los cuales son similares o idénticos en muchos organismos, incluyendo a las plantas. El desarrollo de cada rama del saber científico es un proceso que atraviesa por varias etapas. La etapa contemporánea de la fisiología vegetal es el resultado de un largo desarrollo en el que han ejercido una gran influencia adelantos de otras ramas científicas, como son la fisiología animal, la física y la química.

Las plantas y los animales han desarrollado un patrón o hábito de vida diferente. Los animales tienen un desarrollo y funcionamiento definidos, y lo llevan a cabo acorde con las leyes del movimiento, es decir, mecánicamente, mientras que las plantas crecen y se desarrollan sobre una base estructural. Los animales deben buscar su alimento y sus límites a los cuales deben sujetarse, están dados por su propia naturaleza, tamaño, etc. Las plantas en cambio, son sedentarias en general y producen su propio alimento y sus únicos limitantes están dados por su entorno inmediato y no están limitadas por condiciones mecánicas o de tamaño (Bieto, Cubillo, & Ormaechea, 2008).

La Fisiología Vegetal estudia los fenómenos naturales en las plantas vivas, es la ciencia que trata los procesos y las funciones que se llevan a cabo en las plantas. Por proceso se puede entender una secuencia continua de eventos como: fotosíntesis, respiración, absorción, transpiración, etc., por lo que en primera instancia, la Fisiología Vegetal describe y explica los procesos de las plantas (Rojas Garcidueñas, 1993).

Como función se entiende la actividad natural de algo; ya sea una célula, un tejido o un órgano, por lo que el segundo papel de la Fisiología Vegetal es explicar la función de cada tipo de organelo celular así como la función de cada constituyente químico ya sea una molécula o una macromolécula (Gil Martínez, 1995).

Los procesos y las funciones son dependientes uno de otro y pueden ser modificados por factores externos (del medio ambiente) como la luz, la temperatura, el suelo, etc., por lo que en un tercer nivel la Fisiología Vegetal describe y explica como los procesos y las funciones responden a las variaciones de los factores del medio ambiente. En resumen, se puede decir que la Fisiología Vegetal se encarga del estudio de los procesos

y las funciones de los organismos vegetales y de las interacciones de estos procesos y funciones con los cambios que ocurren en el medio ambiente donde habitan las plantas (Rojas Garcidueñas, 1993).

## **B. FISIOLOGÍA DE *Pinus radiata* D. Don**

### **1. *Pinus radiata* D. Don**

Es un árbol de talla media a elevada, de aproximadamente 30 metros de altura. La ventaja es que es una especie de crecimiento rápido ya que alcanza un diámetro de tronco de más de 40 pulgadas (~1 metro) en 25 o 35 años. Posee una copa aplanada o abovedada en su madurez, con ramas inferiores extendidas. Tiene el tronco recto con ritidoma grueso de color pardo-rojizo. Las hojas de agujas de unos 15 cm de longitud agrupadas en tres. Estróbilos ovoides de 7-14 cm de longitud agrupados en parejas o verticilos de 3-5, con las escamas externas muy prominentes. (Schlatter , Gerding, & Oñate, 1998)

### **2. Características**

*Pinus radiata* es una de estas especies introducidas en países templados de los dos hemisferios que alcanzó una gran difusión por su alta capacidad productiva y su buena plasticidad para adaptarse a las diversas condiciones ambientales. Unida a su buena capacidad de adaptación y a su excelente productividad, este pino presenta el gran inconveniente de ser objeto del ataque de agentes patógenos muy diversos que pueden llegar a producir fuertes impactos en sus masas. (Díaz-Vaz, Fernández, Valenzuela, & Torres, 2007).

Esta contraposición entre la sensibilidad de esta especie a diversos agentes patógenos y sus buenas producciones madereras le han convertido en un buen referente en el seguimiento de los daños, en las pérdidas de producción causadas por estos y en la aplicación de sistemas de protección sanitaria. Es posible que la sensibilidad que presentan actualmente las masas de este pino sea un proceso normal y lógico, común a otras especies vegetales, por ser manejadas extensa e intensamente en plantaciones con turnos más o menos largos en los que están expuestas a condiciones ambientales y agentes patógenos diferentes de los que le afectaban en su área natural. (Schlatter , Gerding, & Oñate, 1998).

Con el rápido aumento de las masas de este pino se dio la oportunidad a muy diversos patógenos de desarrollarse con éxito sobre ellas y causarle importantes daños; en muchos casos la acción de estos patógenos está favorecida por agentes ambientales que actuando sobre el pino facilitan la entrada de aquellos y su desarrollo posterior sobre la planta.

### **3. Aspectos fitosanitarios**

Unida con el rápido aumento de las masas de este pino se dio la oportunidad a muy diversos patógenos de desarrollarse con éxito sobre ellas y causarle importantes daños; en muchos casos la acción de estos patógenos está favorecida por agentes ambientales que actuando sobre el pino facilitan la entrada de aquellos y su desarrollo posterior sobre la planta.

Se considera que una vía rápida de entrada de estos patógenos pudo ser a través de la importación de semilla y de material vegetal, realizadas por los viveristas particulares y aún por organismos oficiales. Estas importaciones de procedencia norteamericana, chilena o neozelandesa se realizaron en busca de mejoras rápidas de este pino sin que mediara un plan de mejora genética bien definido donde la sanidad tendría que jugar el papel que le corresponde. (Cobos-Suárez & Ruiz-Urrestarazu, 1990).

### **C. FACTORES QUE PUEDEN CAUSAR EL ESTRÉS EN UNA PLANTACIÓN DE *Pinus radiata* D. Don**

El concepto de estrés al que estamos acostumbrados es la reacción fisiológica de los organismos animales ante situaciones que perciben como amenazantes, por eso puede resultar complicado entender cómo las plantas pueden sufrirlo. Para los vegetales, el estrés es un factor externo que actúa sobre el organismo. No se trata de una tensión, sino de la intensidad o de la concentración de determinados agentes externos que les afectan. Estos agentes o factores pueden ser de dos tipos: factores abióticos y bióticos. Los primeros no tienen relación con el organismo, y entre ellos están tenemos las condiciones medioambientales que pueden perjudicar a las plantas. Cuando se producen cambios anormales en el entorno, temperaturas extremas, por ejemplo, o cuando hay un cambio en los recursos hídricos tanto por exceso como por defecto, se produce estrés abiótico. También se puede dar que las plantas reciban menos nutrientes de los que

necesitan, o que el terreno sea excesivamente salino o contenga metales pesados en altas concentraciones. (Moreno, 2009).

Tanto el exceso como la limitación de luz pueden desencadenarlo también. El estrés biótico tiene su origen en otros organismos, ya sean animales, herbívoros, o patógenos, o vegetales, por ejemplo las sustancias nocivas que pueda segregar una planta. (Moreno, 2009).

Tipos de estrés más frecuentes:

- **Hídrico:** La falta de agua es la causa de estrés más frecuente en las plantas. La manera que tienen de afrontarlo es su adaptación al medio. Así, las de climas secos o desérticos tienen formas esféricas o ciclos de vida cortos y se mantienen en forma de semilla mientras el abastecimiento de agua es casi nulo. Muchos árboles detienen su crecimiento, pierden las hojas o desarrollan más raíces hacia las zonas más profundas. (Baruch & Fisher, 1991).
- **Salino:** Este tipo de estrés se produce principalmente en cultivos cercanos al mar o a estuarios. Sin embargo, también puede darse a causa de filtraciones naturales de sales o como consecuencia de la acumulación de sales después de riegos sucesivos o tras la evaporación del agua pura. La manera que tenemos de apreciar si nuestras plantas padecen estrés salino es similar al caso anterior, porque la consecuencia es también la deshidratación y la respuesta es semejante: reducción del follaje y del crecimiento de la planta. (Baruch & Fisher, 1991).
- **Bajas temperaturas:** Factor que se da de manera constante en el 90 % de las tierras secas del planeta. Hay dos tipos de daños: El primero, por enfriamiento, se da entre los 20 °C y los 0 °C y su principal consecuencia es el retraso en la maduración de las flores y los frutos. Esto se produce porque el enfriamiento retrasa la velocidad a la que se mueven las sustancias dentro de las células, y el transporte de agua y nutrientes a través de ellas puede variar y afectar la producción de la planta. En general, la mayor parte de las plantas poseen la habilidad de aclimatarse, pero si los descensos son muy bruscos y se llega al congelamiento, las consecuencias pueden ser más duras y matar a la planta directamente. (Baruch & Fisher, 1991).
- **Agentes que afectan en la actualidad a estas masas:** Se ha establecido una clasificación de los agentes patógenos que afectan a esta especie, se divide en dos grupos dependiendo de que estos agentes sean seres vivos o no. Los primeros se

denominan agentes bióticos, por tener vida (insectos, hongos, bacterias, virus), sus efectos son complejos de reconocer y en muchos casos resulta muy difícil detectar la relación causa, además causan enfermedades o plagas. Y los segundos agentes abióticos, por no tener vida propia (luz, temperatura, humedad del suelo, contaminación ambiental, etc.), sus efectos son fácilmente percibidos a través de su sintomatología, pueden causar fisionarías o desordenes. (Cobos-Suárez & Ruiz-Urrestarazu, 1990).

#### **D. AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

Una de las importancias económicas en el mundo es la agricultura, no solo satisface las necesidades internas de un país, sino que lo producido es exportado al mundo entero. Desde principios de la época de la colonia hasta los inicios de esta nueva época, han sufrido diversos cambios que le ha permitido posesionarse como un modelo global de producción a gran escala. Por la difusión explosiva de la soja con la aplicación masiva de agroquímicos para su producción, la utilización de maquinaria de mayor presión, siembra directa y transgénica, se cambió las formas de producción. Por tanto, la agricultura de precisión se presente como una técnica útil para maximizar rendimientos donde la economía lo permita y minimizar costos en lugares donde la economía es baja, pero sobre toda las cosas esto permite vincular al producto con la sustentabilidad del medio ambiente. (Leiva F. , 2009).

Por lo tanto, la agricultura de precisión es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Se refiere al uso de nuevas tecnologías de información para el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad que hay dentro de un lote. La agricultura de precisión involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para la obtención de datos del cultivo. Este tipo de tecnología permite satisfacer a la exigencia de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones. La principal ventaja es el análisis de resultados de los ensayos por sectores diferentes dentro de un mismo lote y de esto ajustar el manejo diferencial dentro de los mismos. (Basso, Ritchie, Braga, & Jones, 2001).

Esto conlleva una reducción de costes de producción y una gestión agrícola más respetuosa con el medio ambiente, que podemos resumir en los siguientes puntos: (Leiva, Camacho, & Hernán, 2009).

- Optimización del uso de recursos costosos.

- Reducción de los contaminantes ambientales.
- Mejor aprovechamiento de la maquinaria agrícola.
- Mayor facilidad de gestión de la explotación agrícola.
- Incremento de la producción.

Para llevar a cabo estas mejoras, los equipos de agricultura de precisión tienen que ser capaces de:

- Disponer de mecanismos más precisos de ajuste y control de la maquinaria durante el trabajo en campo.
- Adquisición automatizada de la información y manejo de los datos mediante ordenadores y bases de datos bien estructuradas. Uso de sistemas de información geográfica (GIS). Empleo de sistema de ayuda a la decisión (modelos de predicción del cultivo, suelo, etc.; sistemas expertos).
- Distribución de abono localizada y variable según las características del suelo en cada punto, su riqueza en nutrientes, agua y crecimiento del cultivo. (Ortega & Flores, 1999).

Distribución de fitosanitarios localizada según las necesidades del cultivo. En realidad hay dos formas de llevar a cabo la agricultura de precisión: una basada en mapas y otra basada en sensores en tiempo real. La primera se fundamenta en el almacenamiento de la Información y la confección de mapas (p.ej. de producción) para realizar posteriormente las tareas de cultivo; la segunda se basa en sensores instalados en cada maquinaria de cultivo que detectan el estado de la planta o suelo según avanzan por el terreno y controlan la labor del apero en consecuencia. La técnica más empleada es la primera (mapas) y es a la que nos vamos a referir en lo sucesivo. Aunque los elementos que componen los equipos de agricultura de precisión pueden variar, hay ciertos componentes comunes a todos, que vamos a describir brevemente. (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2002).

Por ejemplo los resultados de los rendimientos de dos cultivos pueden ser idénticos si se usan promedios, pero diametralmente opuesto en una con pendiente fuerte y en una pendiente normal en un lote, este dato solo se podrá observar elaborando un mapa de rendimiento. De la misma manera, se podrá analizar, el tipo y la dosis de fertilización a

aplicar, la cantidad de semilla, la fecha de siembra, etc. La utilización de la agricultura de precisión ayudara a manejar de los márgenes, atreves del valor de rendimiento, cantidad o calidad, de una reducción en la cantidad de insumos, o de ambos simultáneamente. (Leiva, Camacho, & Hernán, 2009).

## **E. ÍNDICES DE VEGETACIÓN**

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, etc. Los índices de vegetación, son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas. (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997).

### **1. Fundamento**

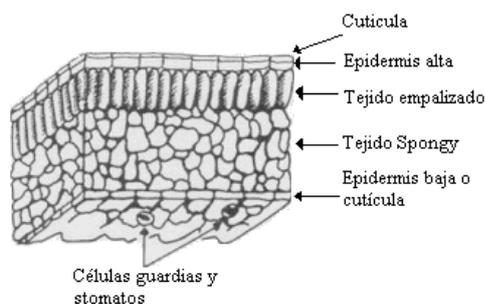
La detección remota de la cobertura vegetal se fundamenta en algunas propiedades que tienen las hojas al interactuar con la radiación solar. Analizamos a continuación estas propiedades. (Paz-Pellat, y otros, 2007)

#### **a. Estructura básica de la hoja**

Muchas de las aplicaciones de la detección remota para diseños de vegetación dependen del conocimiento de las propiedades espectrales de las plantas y sus partes individuales. Esas propiedades son mejor entendidas con un examen de la estructura de las hojas a un nivel detallado. La sección transversal de la hoja típica revela sus elementos (Grafico 1). La capa más alta, la epidermis superior, está compuesta de células especializadas que encajan estrechamente juntas sin aberturas o huecos entre sí. Esta epidermis superior es cubierta por la cutícula, transparente, o capa pálida, que previene la pérdida de humedad en el interior de la hoja. El lado inferior de la hoja es protegido por la epidermis inferior, similar a la epidermis superior excepto que esta incluye aberturas, llamadas estomas, que permiten el movimiento del aire en el interior de la hoja. Cada célula estoma es protegida por un par de células guardia que pueden abrirse y cerrarse cuanto fuera necesario para facilitar o prevenir movimientos de aire en el interior de la hoja. La

función primaria de los estomas es, aparentemente, permitir que ingrese el CO<sub>2</sub> en la hoja por fotosíntesis. (Paz-Pellat, y otros, 2007).

Aunque las células guardias y la epidermis aparentan ser pequeñas e ineficientes, ellas son de hecho muy efectivas en la transmisión de gases de un lado de la epidermis al otro. Su rol de permitir que el CO<sub>2</sub> entre en la hoja es esencial para el crecimiento de la planta, pero ellas también juegan un rol crítico en el mantenimiento del balance termal de la hoja permitiendo el movimiento de la humedad hacia el interior de la hoja. Sin embargo, las células guardia pueden cerrarse para impedir el paso de la humedad y por lo tanto economizar el uso de la humedad en la planta. Aparentemente la ubicación del estoma en el lado inferior de la hoja favorece la transmisión máxima de luz hacia la epidermis superior y minimiza la pérdida de humedad cuando la célula estoma está abierta. (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997).



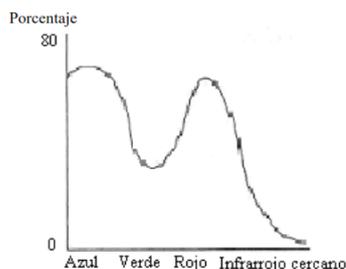
**Fuente:** (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997).

**Gráfico 1.** Diagrama de la sección transversal de la hoja típica

### **b. Comportamiento espectral de la hoja**

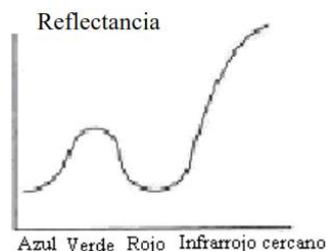
La clorofila no absorbe toda la luz del sol uniformemente, Las moléculas de clorofila preferentemente absorben la luz roja y azul para usar en la fotosíntesis (Gráfico 2). Ellas deben absorber tanta cantidad como 70 % a 90 % de la luz incidente en esas regiones. Mucho menos cantidad de la luz verde es absorbida y más es reflejada, entonces el observador humano, que puede ver solo el espectro visible, observa la reflexión dominante de la luz verde como vegetación viva (Gráfico 3). (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997). Las plantas contienen cuatro pigmentos principales, la clorofila a y b, caroteno y xantofila, todos los cuales absorben la energía en el visible para realizar los procesos de fotosíntesis, teniendo una baja reflectividad de la

vegetación en las zonas del espectro visible correspondientes al azul ( $0,445 \mu\text{m}$ ) y al rojo ( $0,645 \mu\text{m}$ ) dada por la presencia de clorofila a y b, las cuales son responsables de la absorción en estas longitudes de onda. Los carotenos y xantofilas lo hacen con las longitudes del verde ( $0,55 \mu\text{m}$ ) donde el efecto absorbente es menor lo que ocasiona un pico relativo de reflectividad que al coincidir con la banda del verde causa el color con el que vemos a la vegetación vigorosa. (Chuvienco, Teledetección Ambiental, 2008)



**Fuente:** (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997).

**Gráfico 2.** Espectro de Absorción para la clorofila

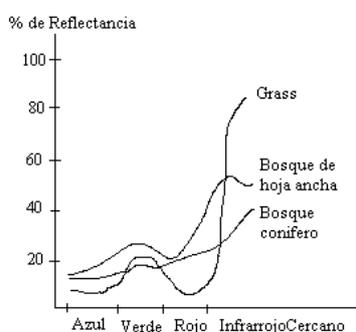


**Fuente:** (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997).

**Gráfico 3.** Reflectancia Espectral típica de una hoja viva

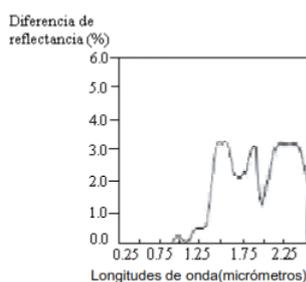
En el espectro cercano al infrarrojo, la reflexión de la hoja es controlada no por pigmentos de plantas, pero sí por la estructura del tejido esponjoso. La cutícula y la epidermis son mayormente transparentes a la radiación infrarroja, entonces una muy pequeña radiación es reflectada de la parte exterior de la hoja. La radiación que pasa a la epidermis superior es fuertemente esparcida por el tejido esponjoso y las cavidades dentro de la hoja. Muy poca de esta energía infrarroja es absorbida internamente, es principalmente (por encima del 60 %) esparcida de manera ascendente (la que se llama energía reflectada) o descendente (energía transmitida). Entonces la estructura interna de la hoja es responsable por el brillo de la reflectancia infrarroja de la vegetación viva. (Paz-Pellat, y otros, 2007).

En el borde del espectro visible la absorción de la luz roja por los pigmentos de clorofila empieza a declinar, y la reflectancia crece abruptamente. Entonces, si la reflectancia es considerada no sólo en el visible, pero a través del visible e infrarrojo cercano, la reflectancia pico de la vegetación viva no está en el verde pero sí en el infrarrojo cercano (Grafico 4). Este comportamiento explica la gran utilidad del espectro infrarrojo cercano para los estudios de vegetación y, por supuesto, facilita la separación de las superficies de vegetación de las superficies sin vegetación, que son usualmente muy oscuras en el infrarrojo cercano. Además, las diferencias en la reflectancia de las especies de plantas frecuentemente son más pronunciadas en el infrarrojo cercano (Grafico 5). (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997).



**Fuente:** (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997)

**Gráfico 4.** Las diferencias entre las clases de vegetación se distinguen mejor en el infrarrojo que en el visible



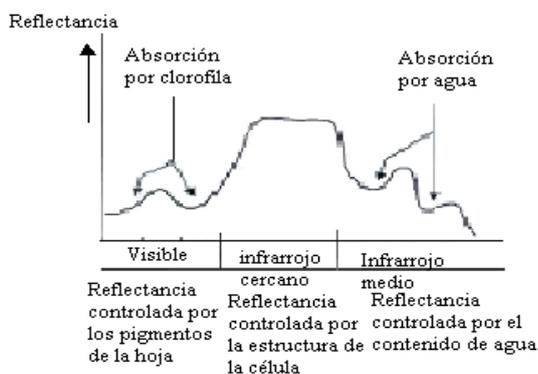
**Fuente:** (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997)

**Gráfico 5.** Cambios en el contenido de agua de la hoja deben ser pronunciados en la región del infrarrojo cercano. Este diagrama ilustra diferencias en la reflectancia entre la película de agua equivalente de 0.018 cm y 0.014 cm; cambios en la reflectancia

Con la madurez o estrés en las plantas por enfermedad, ataques de insectos, o escasez de humedad, las características espectrales de la hoja deben cambiar. En general estos cambios aparentemente ocurren simultáneamente en ambas regiones visible e infrarrojo, pero los cambios de reflectancia en el infrarrojo frecuentemente son más notables. La reflectancia en la región del infrarrojo es aparentemente controlada por la naturaleza de las complejas cavidades entre la hoja y la reflexión interna de radiación infrarroja de esas cavidades. (Paz-Pellat, y otros, 2007)

Algunos científicos sugieren que la tensión de la humedad o madurez natural de la hoja causa esas cavidades para colapsar como plantas marchitas. Otros sostienen que es posible que el decrecimiento en la reflexión de la región cercana al infrarrojo sea causado por el deterioro de células muertas antes que cambios físicos en las cavidades. (Paz-Pellat, y otros, 2007)

Entonces, los cambios en el vigor de la vegetación y las imágenes del infrarrojo han sido valiosos en la detección y mapeo de presencia, distribución y extensión de los cultivos enfermos e infestaciones de insectos. Además, los cambios en la estructura de la hoja que acompañan la madurez natural de los cultivos están sujetos a detección con imágenes del infrarrojo (Gráfico 6). (Castillo & Castelvi, 2001)



**Fuente:** (Castillo & Castelvi, 2001)

**Gráfico 6.** Mayores influencias en las propiedades espectrales de la hoja viva

## F. TELEDETECCIÓN

En general, la teledetección es la técnica de obtener información de los objetos sin que los instrumentos de medida estén en contacto con el objeto que está siendo analizado.

No obstante, cuando se habla de teledetección generalmente se está hablando del estudio de la superficie de la tierra desde un satélite, sin entrar en contacto con ella.

La Tierra recibe radiación del sol. Todos los objetos de su superficie absorben y reflejan parte de esa radiación, pero de manera distinta, según su naturaleza. La teledetección analiza la radiación reflejada, utilizando esa información para numerosas aplicaciones. (Cabello & Paruelo, 2008).

Los componentes de la teledetección son:

- **Fuente de energía:** el sol es una fuente capaz de alcanzar a toda la tierra, que además es inagotable y está siempre disponible.
- **Objetos a estudiar:** Según su naturaleza la radiación devuelta al espacio será de una manera o de otra.
- **Instrumentos de medida:** Se instalan en un satélite que da vueltas alrededor de la tierra y recoge la radiación emitida por los objetos a analizar. Las mediciones pueden ser todo tipo, desde imágenes convencionales, temperatura, radiación ultravioleta, microondas. Y un sinnúmero de ellas
- **Transmisión:** Todo lo recogido por el satélite debe ser transmitido a una central de control.
- **Procesado:** Dependiendo del tipo de medidas realizadas por el satélite se procesarán de una manera o de otra obteniéndose imágenes digitales de la zona estudiada
- **Aplicaciones:** Son de lo más diversas. Las imágenes tradicionales pueden generar cartografía a gran escala. Un mapa de temperatura puede generar estudios de reservas de agua subterránea. Un estudio de la atmósfera sirve para crear previsiones meteorológicas. También pueden obtenerse mapas de cultivos, estudios demográficos, impacto ambiental, aplicaciones militares. (Marin & Ninci, 2010).

#### a. Teledetección forestal y *Pinus radiata* D. Don

La cuantificación de la estructura forestal en plantaciones de coníferas se utiliza para muchos propósitos de manejo forestal, incluyendo la evaluación de la productividad y el volumen de madera en base a parámetros como el área basal, soporte de volumen y el almacenamiento de una vista local. Con el fin de lograr este objetivo, tradicionalmente

los supervisores forestales solían visitar las zonas boscosas para implementar medidas in situ. Hoy en día, las técnicas de teledetección son reconocidas como una alternativa eficaz a los métodos convencionales, que ocupan mucho tiempo y son muy costosos. Ahora que los sistemas satelitales avanzados se han desarrollado, hay nuevas bases de datos disponibles obtenidos por teledetección que pueden ser útiles para el mapeo de la estructura de las plantaciones de pino. Sin embargo, además de la precisión de la estimación requerida de información derivada de los datos obtenidos por teledetección, el presupuesto del proyecto y el precio de suministro de datos se debe considerar antes de seleccionar un conjunto de datos. Dado que la estructura de las plantaciones de pino es menos compleja que los bosques naturales, es posible que el precio sea más bajo y los datos disponibles más fácilmente podrían proporcionar la precisión de la estimación requerida de los parámetros estructurales. (Trinder & Shamsoddini, 2014).

## **G. ENVI + IDL 5.0**

ENVI es un software completo de visualización y análisis de las imágenes obtenidas en la teledetección. Su interfaz lógica e intuitiva nos permite leer, visualizar y analizar diferentes formatos de imágenes, de todos los tamaños y en un gran número de plataformas. Además, ENVI incluye el lenguaje de desarrollo IDL (Interactive Data language) que permite extender las funcionalidades de ENVI y crear rutinas propias. Sus completas funciones interactivas de análisis multi/híper espectral y análisis radar revolucionan la manera que tenemos de observar la tierra. (Ugaste Corres, 1999).

### **1. Características**

IDL es un completo paquete para el análisis interactivo y la visualización de datos científicos y de ingeniería. Integra un potente lenguaje orientado a la manipulación de matrices, y numerosas técnicas de análisis numérico y presentación gráfica. Científicos e ingenieros encuentran, programando en IDL, una alternativa a programar en FORTRAN o C que les ahorra tiempo. Usando IDL pueden fácilmente llevar a cabo tareas que requerirían días o semanas con un lenguaje de programación tradicional. (Ugaste Corres, 1999).

Características:

- Procesamiento de imagen avanzado

- Avanzados gráficos 2D y 3D
- Visualización de volúmenes
- Crear soluciones con la más moderna tecnología usando gráficos orientados a objetos
- Comenzar rápidamente sin programar mediante el entorno IDL Insight
- Rápido acceso y manipulación de datos guardados en bases de datos mediante IDL
- DATAMINER (Link a [Dataminer.doc](#))
- Funciones matemáticas y estadísticas
- Lectura/escritura flexible de ficheros
- Interface gráfico multiplataforma
- Posibilidades de unión con otros lenguajes y sistemas operativos.
- IDL GUIBuilder: Es una poderosa herramienta que facilita la rápida generación de Interfaces de Usuario Gráficas (GUIs). Permite a los usuarios construir GUIs personalizadas. El IDL GUIBuilder genera código independiente de la plataforma, es decir, cualquier interface desarrollada con el IDL GUIBuilder es portable a cualquier ordenador en el que esté instalado IDL.
- Soporte de datos con formato HDF-EOS y DICOM: Soporte de nuevos formatos de datos, incluyendo HDF-EOS y DICOM (Digital Imaging Communications in Medicine).
- Soporte de datos extensos (64 bits): IDL puede manejar archivos mayores de 2 Gigabytes de tamaño.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR**

#### **1. Localización**

El presente trabajo se realizara en la plantación de *Pinus radiata* D. Don, ubicado en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

##### **a. Superficie**

La parroquia Achupallas tiene una superficie de 97117,51 Ha

#### **2. Características Climáticas**

Datos obtenidos de la Estación Meteorológica Jubal (EMJ)-UNACH 2013.

- Temperatura promedio anual: 8,3 °C
- Humedad relativa: 83,6 % promedio anual.
- Precipitación promedio anual: 700-1800 mm

#### **3. Clasificación Ecológica**

Según Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012) la parroquia Achupallas tiene la siguiente clasificación ecológica: Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo entre los 2900 y 41000 m.s.n.m.

#### **4. Ubicación geográfica**

**Coordenadas Proyectadas:** UTM ZONA 17 Sur / Datum WGS 84

**X:** 748063 E

**Y:** 9746940 N

## **B. MATERIALES**

### **1. Materiales de campo**

GPS, Forcípula, Cinta métrica, Clinómetro, Machete, Camioneta, hipsómetro, brújula, lápiz, libreta de apuntes, cámara fotográfica, tablero de campo, botas y mochila. (Anexo 1)

### **2. Materiales de oficina**

Calculadora, computadora, impresora, software ENVI + IDL 5.0, ArcMap 10.3, imágenes satelitales.

## **C. METODOLOGÍA**

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, se procedió de la siguiente manera:

### **1. Determinación del estado fisiológico en campo mediante la evaluación convencional**

#### **a. Georreferenciación de la plantación de *Pinus radiata* D. Don.**

En la presente investigación se delimito el área de estudio recorriendo los linderos de la plantación, con la ayuda del GPS se tomaron puntos de control que nos permitieron con el software ArcMap 10.3 determinar la superficie de la plantación y el establecimiento de las parcelas permanentes de muestreo.

#### **b. Diseño de muestreo**

Procedimos a calcular el número de parcelas a establecer en el campo, en base al área neta de la plantación esto lo realizamos aplicando la teoría de intensidad de muestreo, sugerida por (Spitler, 1995).Tabla 1.

**Tabla 1.** Cálculo de intensidad de muestreo

Tamaño del estrato o plantación (ha)	Intensidad de muestreo (% del área neta)	Número de parcelas por ha.	Distanciamiento entre parcelas y fajas (m) <sup>1</sup>
1 a 3	5	5,0	45
3,1 a 6	4	4,0	50
6,1 a 10	3	3,0	60
10,1 a 20	2	2,0	70
20,1 a 50	1,5	1,5	80
> 51	1	1,0	100

Fuente: Spitler, 1995

El número de parcelas para esta plantación de *Pinus radiata* D. Don, se determinó de acuerdo a la siguiente formula:

$$IM = \frac{A * 10000m^2 * \% \text{ de muestra}}{500}$$

Dónde:

IM= Intensidad de Muestreo

A= Área (superficie en hectáreas del lote)

500 m<sup>2</sup>= superficie de una parcela

%= porcentaje de muestra

Una vez ya establecidas las parcelas se determinó el centro de cada una de ellas y a partir de esto, con la ayuda de la cinta métrica se midió los 12,62 m, con orientación norte y se determinó el primer árbol de la parcela. Luego siguiendo las manecillas de reloj se marcó todos los árboles que se encuentran alrededor del mismo y se procedió a la toma de datos de cada uno de ellos (Anexo 2).

La investigación se realizó utilizando un diseño aleatorio para el establecimiento de las unidades de muestreo ya que la plantación está en una zona de topografía irregular, por este motivo se aplicó la teoría de intensidad de muestreo sugerida por Spitler, 1995 ver Tabla # 1. Así como la ubicación de las parcelas establecidas con una intensidad de muestreo de 1,5%, se aplicó la fórmula:

$$IM = \frac{A * 10000m^2 * \% \text{ de muestra}}{500}$$

$$IM = \frac{26 * 10000m^2 * 0,015}{500} = 7,8$$

Una vez utilizado la fórmula para saber el número de parcelas a monitorear en las 26 hectáreas de la plantación, nos dio un resultado de 8 parcelas que se debe establecer en la plantación, cada parcela fue elaborada con un área de 500 m<sup>2</sup> en forma circular con un radio de 12,62 m en las cuales se recolectaron los datos de: DAP, Altura, y estado fisiológico de la planta (Gráfico 7).

### **c. Medición de variables dasométricas**

#### **1) Diámetro y altura**

Con ayuda de la cinta métrica se midió el diámetro de los árboles en la parcela, la altura total se obtuvo en metros con el hipsómetro de Christen. Los datos de campo: diámetro de altura al pecho (DAP), altura total de los árboles, el estado fisiológico de los árboles monitor de cada parcela establecida se registraron en el formulario para campo N° 6 (Gráfico 7).



## 2) Instrucciones para el llenado del Formulario

A continuación se describe las instrucciones que se deberán seguir en campo para la evaluación de las parcelas de muestreo, para el presente estudio se evaluó los siguientes parámetros: uso de la especie (Tabla 2), estado del árbol (Tabla 3), calidad del fuste (Tabla 4), condición fitosanitaria (Tabla 5), grado de la condición fitosanitaria (Tabla 6) y la dominancia (Tabla 7).

**Tabla 2.** Uso de la especie

Instrucciones: Debe registrar el número de todos los tipos de uso que apliquen. Los tipos de uso posibles son:	
DONDE :	
1	Madera
2	Leña
3	Carbón
4	Frutas
5	Semilla
6	Medicinal
7	Forraje
8	Resina/látex
9	Poste cerco
10	Tintes
11	Control biológico
12	Fertilizante
13	Sombra
14	Ornamental
15	Artesanía
16	Usos culturales (rituales )
17	Desconocido
18	Otro

**Fuente:** UNIDAD TÉCNICA MAE/FAO. 2012

**Tabla 3.** Estado del árbol

Instrucciones: Debe registrar el número del tipo de estado que aplique ( <i>selección única</i> ). Los tipos de estado posibles son:	
1	Vivo
2	Muerto en pie, con copa y ramas, pero sin hojas
3	Muerto en pie, sin copa ni ramas
4	Tocón

Fuente: UNIDAD TÉCNICA MAE/FAO. 2012

**Tabla 4.** Calidad de fuste

Instrucciones: Debe registrar el número del tipo de calidad del fuste que aplique ( <i>selección única</i> ). Los tipos de calidad son:	
1	Optimo.- árbol recto y sano
2	Medio.- árbol medianamente torcido o ramificado, o con mínima afección fitosanitaria
3	Bajo.- árbol torcido o enfermo
4	Tocón o árbol muerto

Fuente: UNIDAD TÉCNICA MAE/FAO. 2012

**Tabla 5.** Condiciones fitosanitario

Instrucciones: Debe registrar el número del tipo de condición fitosanitaria que registra el árbol ( <i>selección única</i> ). Los tipos de condiciones son:	
1	Sano
2	Fuste quemado
3	Fuste hueco
4	Fuste picado
5	Dañado por animales
6	Enfermo por plagas o enfermedades
7	Fuste afectado por mata palos ( <i>Ficus sp.</i> )
8	Presencia de paracitos
9	Presencia de lianas y bejucos
10	Otros

Fuente: UNIDAD TÉCNICA MAE/FAO. 2012

**Tabla 6.** Grado de condición fitosanitario

Instrucciones: Debe registrar el número del tipo de grado que se identifica para la condición fitosanitaria que registra el árbol ( <i>selección única</i> ). Los tipos de grado son:	
1	Sano
2	Leve
3	Severo

Fuente: UNIDAD TÉCNICA MAE/FAO. 2012

**Tabla 7.** Dominancia

Instrucciones: Debe registrar el número del tipo de dominancia que registra el árbol (selección única). Los tipos de dominancia son:	
1	Dominante.- pertenecen a los árboles más altos y sus copas definen en nivel superior del dosel, reciben luz total por arriba y por los costados, tienen copas bien desarrolladas.
2	Co-dominante.- Árboles cuyas copas forman parte del nivel intermedio del dosel, están por debajo de los dominantes., reciben luz solar total por arriba, pero parte por los costados
3	Suprimido.- Árboles cuyas copas se encuentran por debajo del nivel intermedio del dosel
4	Solitario.- Cuando los árboles están separados y no se puede determinar su dominancia

Fuente: UNIDAD TÉCNICA MAE/FAO. 2012

### 3) Cálculo del coeficiente de Variación

El coeficiente de variación nos permitió darle una calificación a las parcelas, a partir de los criterios de calificación de calidad de una plantación (Tabla 8) (Murillo & Camacho, 2000), los datos para el cálculo de la media, el coeficiente de variación, la desviación estándar fueron obtenidos con los datos de los diámetros en metros registrados en campo (Anexo 3)

Este se estimó con la ayuda del Excel con la fórmula

$$C = \frac{S}{\bar{X}}$$

Dónde:

C= Coeficiente de variancia

S= Desviación estándar

$\bar{X}$ = Media

**Tabla 8.** Criterios de calificación de calidad de una parcela o plantación, con base en el coeficiente de variación

Coeficiente de variación	Calificación de la Parcela o plantación
Menor a 10%	Excelente
10 a 20%	Aceptable
Mayor a 20%	No aceptable

**Fuente:** (Murillo & Camacho, 2000)

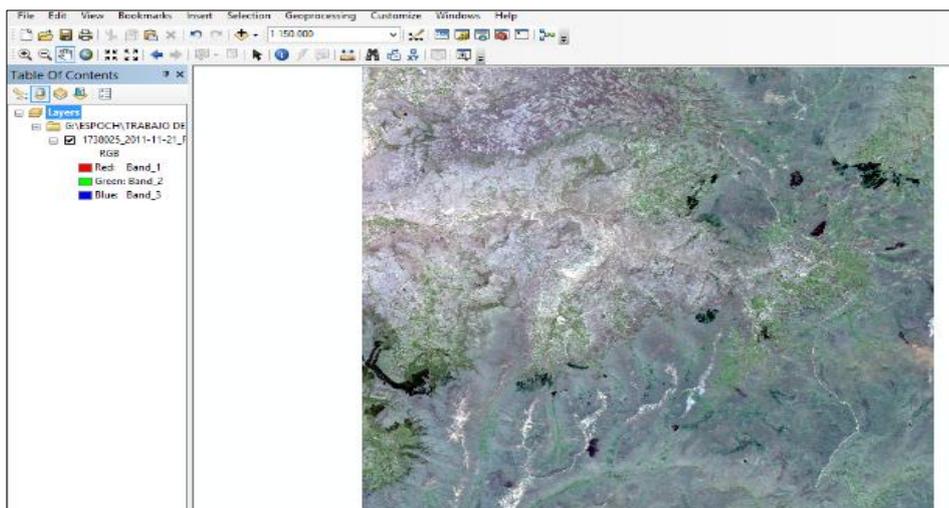
Las variables cuantitativas se clasificaron según el Coeficiente de Variación (Tabla 8) obtenido de cada una de las parcelas con los datos de los diámetros registrados en campo.

## **2. Evaluación del estado fisiológico utilizando el software ENVI + IDL 5.0**

### **a. Realizar el recorte de la plantación de *Pinus radiata* D. Don en la imagen Rapideye.**

Las imágenes satelitales Rapideye fueron proporcionadas por el PROYECTO CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA – UNACH para recortar y zonificar el área de estudio, estas imágenes poseen una resolución (tamaños del píxel) de 5 x 5 metros, cuentan con las bandas espectrales rojo, verde, azul, infrarrojo cercano y una banda Red de edge, estas nos ayuda a la medición de las miles de variables que existen en la vegetación lo que nos permitirá separar las distintas especies y el monitoreo del estado fisiológico de la vegetación, las imágenes cuentan con un nivel de corrección radiométrica 3A, que es un producto orto rectificado con correcciones radio métricas, geométricas, y del terreno en una determinada proyección geométrica con una precisión que depende de la calidad de los datos de control (GCPs) y DEM utilizados.

Se cargaron las imágenes en ArcMap 10.3 (ESRI, EEUU) (Grafico 8) para realizar el recorte la plantación en la imagen Rapideye.



**Elaborado por:** Novoa. R

**Gráfico 8.** Imagen Rapideye en ArcGis 10.3

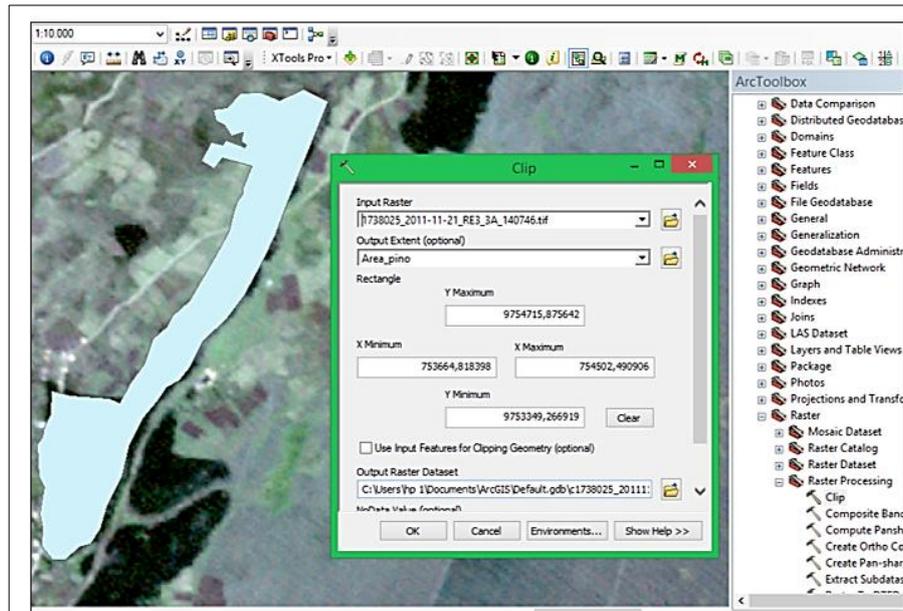
Luego se cargó el área de la plantación (Gráfico 9) que se va recorta en la imagen.



**Elaborado por:** Novoa. R

**Gráfico 9.** Área de la plantación sobre la imagen Rapideye

Por último, se recortó el área de la plantación en la imagen satelital utilizando la herramienta ArcToolBok, nos dirigimos a Data Management Tools – Raster y Clip donde en la pestaña Input Raster ingresamos la imagen Raster a recortar, en Output Extent el área de la plantación y por último aceptar. (Gráfico 10)



Elaborado por: Novoa. R

**Gráfico 10.** Recorte del área de la plantación en la imagen Rapideye

Hecho el recorte, esta imagen Rapideye del área de la plantación se calculó el índice de vegetación normalizado (NDVI) en el software ENVI 5.0

#### b. Cálculo del NDVI con el software ENVI 5.0

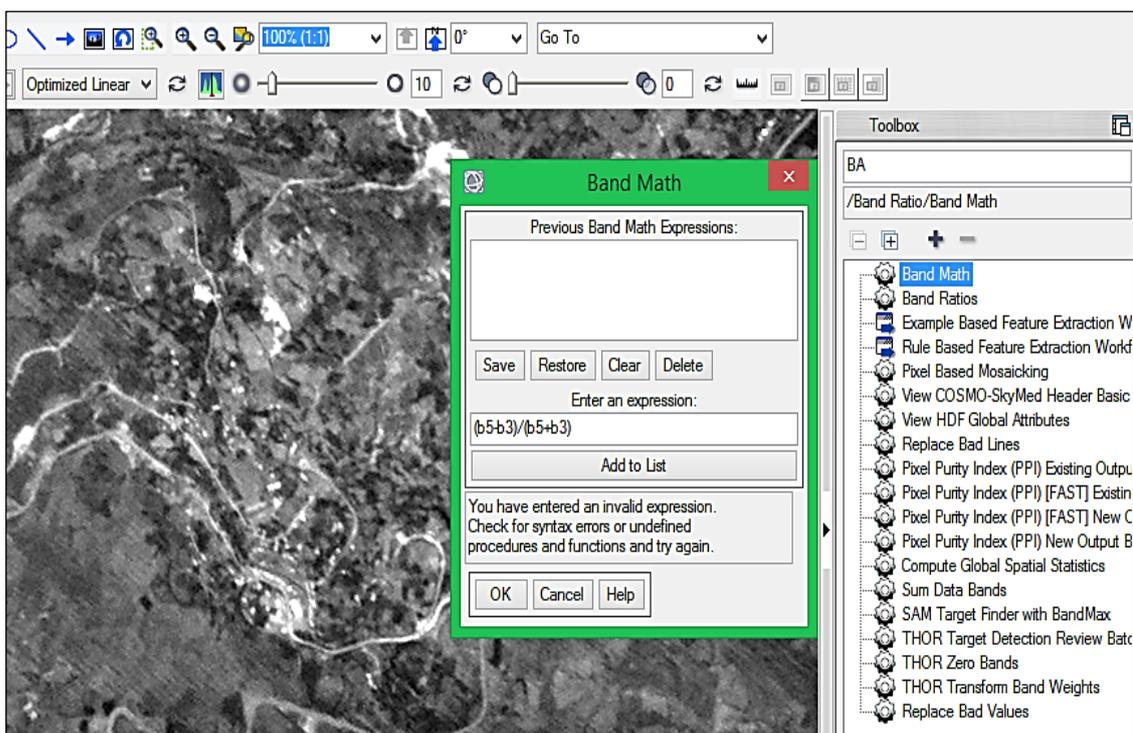
Después de haber realizado la zonificación y el recorte de la plantación de *Pinus radiata* D. Don en la imagen Rapideye, se procedió a la evaluación del NDVI de la plantación en el Software ENVI 5.0, para lo cual se seleccionó las bandas espectrales que están a 5 m de resolución espacial, las que nos ayudaron a la evaluación del estado fisiológico de la plantación, estas son:

- Banda 3 (R): Es la banda de absorción de la clorofila, que es muy útil para la clasificación de las cubiertas vegetales, ya que presenta buen contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal. Permite el mapeo de drenaje en regiones con poca cobertura de área vegetal e identificación de áreas agrícolas, su rango espectral es de 0,63 a 0,69 micrones (rango correspondiente al color rojo).
- Banda 5 (RE): Esta banda presenta una sensibilidad a la humedad de las plantas, la cual sirve para observar el estrés en la vegetación, indicada también el contenido de humedad del suelo. Además, permite discriminar entre nieve y nubes, el rango espectral es de 1,55 a 1,75 micrones (infrarrojo medio de onda corta).

Seleccionadas las bandas, se cargó las imágenes Rapideye en el ENVI 5.0, con la herramienta Band Math (Grafico 11) se generó el mapa NDVI de la plantación a través de la fórmula:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Donde la RE O IRC (Infrarrojo cercano) se encuentra entre los 0,7 y los 1,3 micrómetros, tiene la capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad y la R (Rojo visible) es muy útil para clasificar la vegetación ya que presenta un buen contraste en los diferentes tipos de vegetación también se le denomina la banda de la fotosíntesis.



Elaborado por: Novoa. R

**Gráfico 11.** Generar el NDVI

Una vez aplicada la ecuación se obtuvo una imagen en escala de grises la cual se cambió a una escala de colores reales que permitió diferenciar y clasificar las zonas sanas y enfermas.

**c. Evaluación de las parcelas monitoreadas en campo en la imagen Rapideye.**

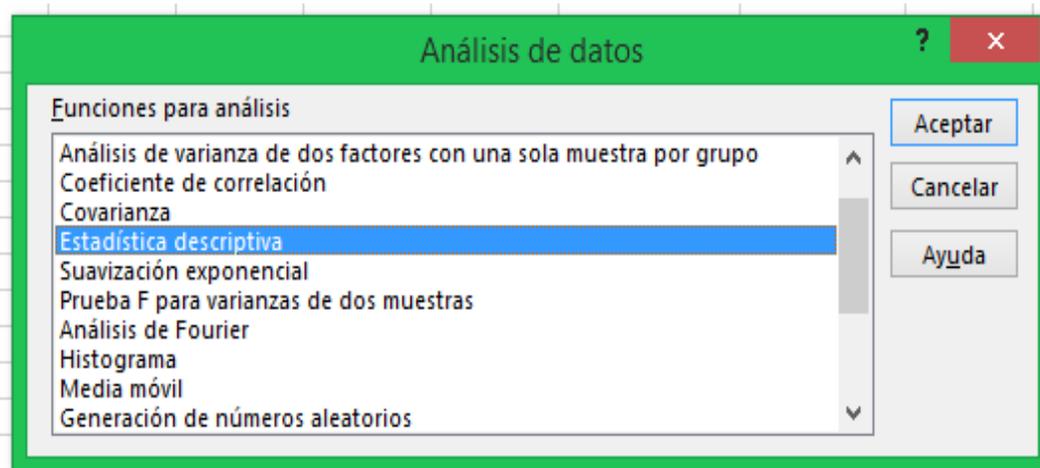
Se seleccionó de cada una de las parcelas los píxeles que entraba en un rango de 12,6 m de radio, ya que este fue el radio con los que se evaluó cada una de las parcelas en campo. Para la evaluación se elaboró una (Tabla 9) en Excel 2013 (Microsoft Office, EEUU) donde se llenó los valores de los píxeles de cada parcela:

**Tabla 9.** Valores del NDVI de los píxeles de las parcelas

NDVI PIXILES PARCELA P001 BUEN ESTADO	
Nº Pixel	Valor del NDVI por píxel

**Elaborado por:** Novoa. R

Los valores de NDVI contenido en cada uno de los píxeles que forman la parcela, fueron evaluados a partir de la estadística descriptiva de Excel 2013 (Microsoft Office, EEUU) (Gráfico 12)



**Elaborado por:** Novoa. R

**Gráfico 12.** Análisis de datos

Esta herramienta entrega medidas de resumen como la, media, la mediana, la desviación estándar, el coeficiente de variación, etc. (Tabla 10).

**Tabla 10.** Medidas de resumen de la estadística descriptiva de los píxeles

P00n	
Media	
Mediana	
Moda	
Desviación estándar	
Varianza de la muestra	
Mínimo	
Máximo	
Suma	
Cuenta	
Cv	

Elaborado por: Novoa. R

A partir de estos valores se calculó el coeficiente de variación el cual nos permitió observar los píxeles muestreados son homogéneos o heterogéneos, de acuerdo con la siguiente (Tabla 11), (Galindo, 2015) y corroborar la información obtenida en campo.

**Tabla 11.** Análisis estadístico

Análisis estadístico	
Descripción	Rangos
Homogéneo	$\leq 1$
Heterogéneo	$> 1,5$

Fuente: Galindo, 2015

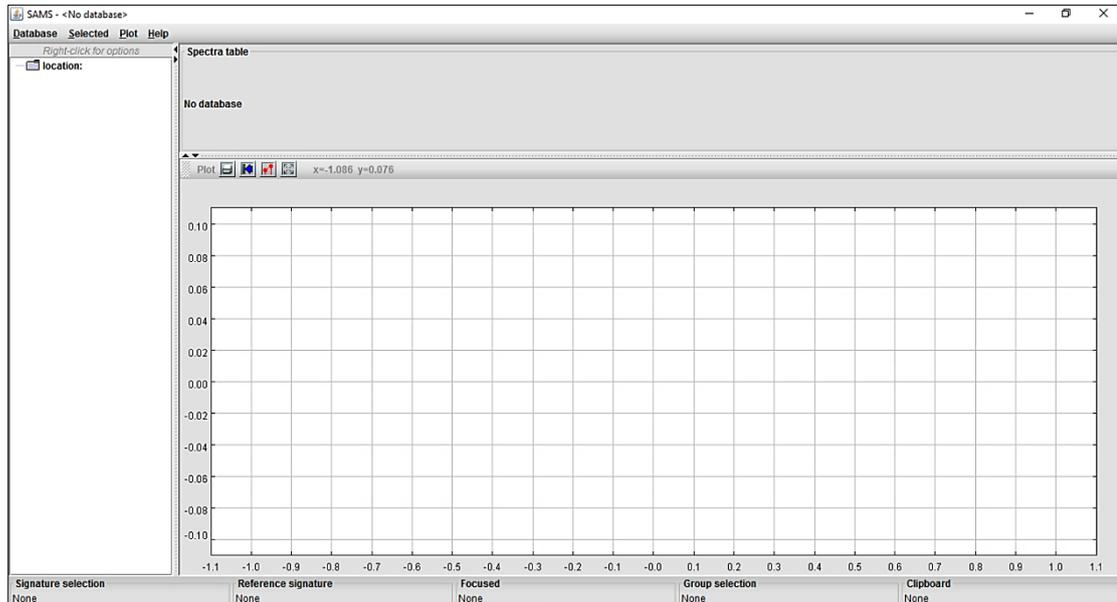
### **3. Validación del estado fisiológico generado en ENVI 5.0 a partir de una comparación con los datos obtenidos en campo mediante la evaluación convencional**

#### **a. Análisis espectral de las parcelas sanas y enfermas en la imagen satelital**

Previo a realizar la comparación de los datos obtenidos en campo con los datos de las imágenes se realizó una comparación entre parcelas tanto sanas como enfermas, lo que permitió validar a los datos obtenidos por el análisis estadístico y al mismo tiempo corroborar que la vegetación que en la imagen se representa como sana o enferma es semejante entre parcelas ya que en sus valores espectrales no deberían existir una diferencia significativa. Para lo cual se realizó una comparación gráfica de cada una de las bandas que forman la imagen satelital, para esto se obtuvo la firma espectral de cada

una de las parcelas con la herramienta espectral profile del software ENVI 5.0 y se realizó una comparación gráfica de las firmas en el software SAMS compila en JAVA (Gráfico 13).

**Elaborado por:** Novoa. R



**Gráfico 13.** Software SAMS compilado en JAVA

## **b. Verificación de los resultados obtenidos de las imágenes satelitales en campo.**

Una vez obtenido los mapas generados en el software ENVI 5.0 sobre el estado fisiológico de la plantación, se verificaron estos resultados con la ayuda de la información obtenida en campo, en las parcelas de monitoreo de la plantación de *Pinus radiata* D. Don, para lo cual se hizo la siguiente tabla comparativa donde se compararon los datos cuantitativos (rangos de interpretación obtenidos a partir de los datos cuantitativos), ya que los datos obtenidos de los procesos de campo e imágenes satelitales nos entregan resultados cuantitativos diferentes (Tabla 13), para el caso de la imagen satelital son valores adimensionales 0 a 1 y para el caso del campo son valores porcentuales de 1 a 100 % (Tabla 12) los cuales por sus distintos valores no pueden ser comparados.

**Tabla 12.** Valoración de datos

Valoración de los datos			
Descripción	Valor	Buen estado	Mal estado
Campo (Coeficiente de variación %)	0 a 100 %	$\leq 20\%$	$> 20 \%$
Imagen satelital (Media - Adimensional)	0 a 1	$< 0,3$	$> 0,6$

**Elaborado por:** Novoa. R

**Tabla 13.** Comparación datos de campo e imagen satelital

Parcela	Imagen ( Valor Medio NDVI)		Campo (Coeficiente de Variación)	
P001				
P002				
PP03				
P004				
P005				
P006				
P007				
P008				

**Elaborado por:** Novoa. R

De no haber una semejanza o igualdad en la comparación de los resultados cualitativos se realizó un ajuste a los procedimientos hechos con la imagen satelital ya que pudo existir errores en los procedimientos realizados y aplicación de ecuaciones, a diferencia que los procesos realizados en campo no tienen un margen de error amplio ya que los mismos fueron realizados ensitu, de no encontrar una semejanza se revisó los procesos en campo de esta forma se comprobó que la comparativa fue realizada con datos lo más exactos posibles, realizados los ajustes se realizó una nueva comparativa de no existir concordancia de los mismos se pudo decir que no se pueden determinar el estado fisiológico a partir de estas imágenes satelitales.

## V. RESULTADOS

### A. DETERMINACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO EN CAMPO MEDIANTE LA EVOLUCIÓN CONVENCIONAL

#### 1. Georreferenciar la plantación *Pinus radiata* D. Don

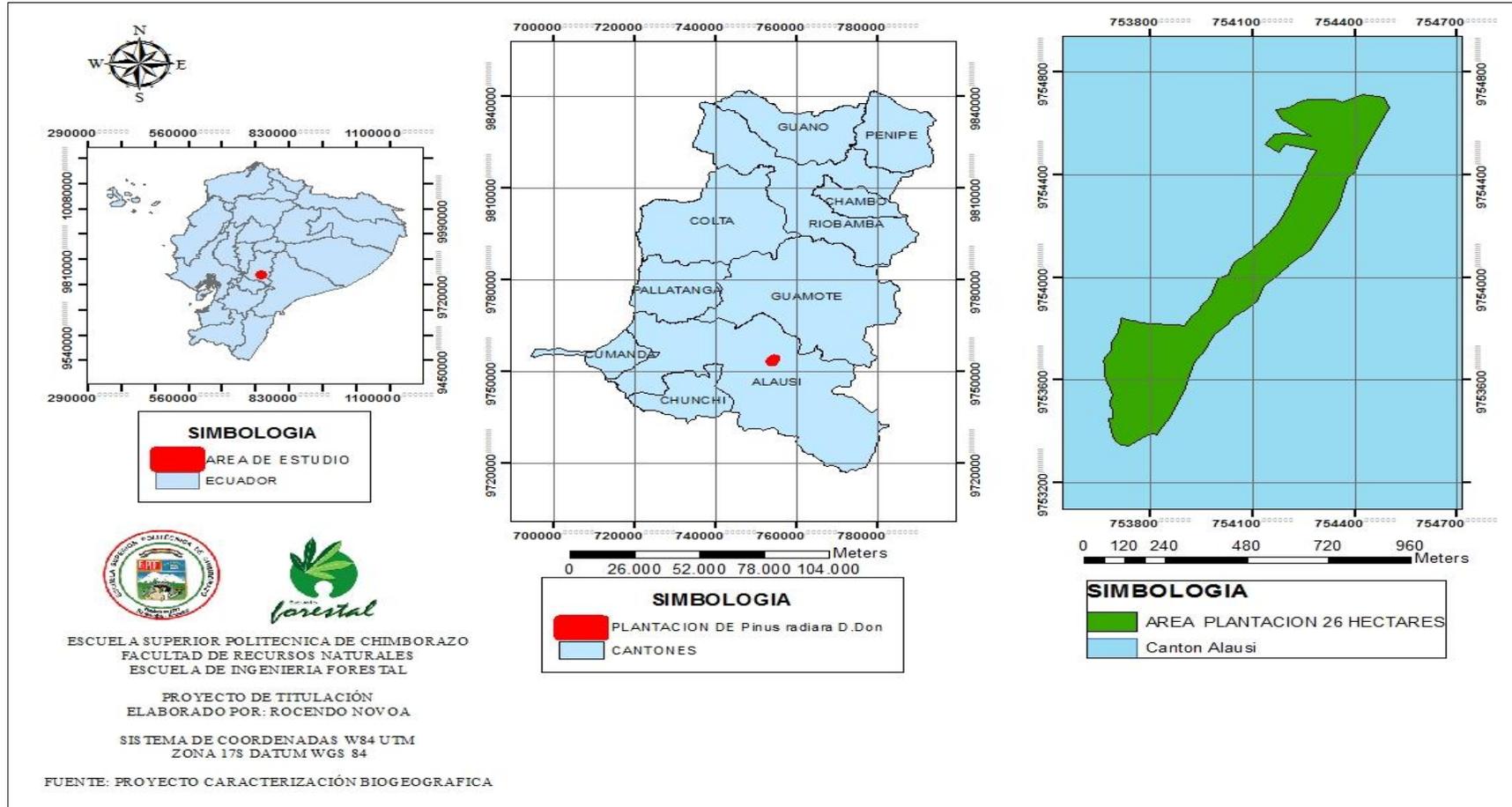
En el cuadro (Tabla 7) se muestra la información del lugar donde se encuentra ubicado la plantación de *Pinus radiata* D. Don y los puntos de monitoreo de la investigación. Se recorrió la plantación, con la ayuda del GPS se tomaron 10 puntos (Anexo 4) los puntos para delimitar el área de estudio, mismo fueron ingresados al programa ArcMap 10.3 con el cual se determinó un área de 26 hectáreas donde se establecieron los puntos de monitoreo de la presente investigación, encontrando nuestra zona de estudio en la provincia de Chimborazo, Cantón Alausí; parroquia Achupallas, Comunidad Cobshe Alto.

**Tabla 14.** Ubicación de la plantación y datos de las parcelas establecidas

Ubicación de la Plantación de <i>Pinus radiata</i> D. Don							
Plantación	Ha	Distribución zona	Provincia	Cantón	Parroquia	Comunidad	Zona UTM
1	26	BSVMA	Chimborazo	Alausí	Achupallas	Cobshe Alto	17S
Ubicación de los puntos de muestreo							
Plantación	Parcela	X-Coord.		Y-Coord.		Altitud (msnm)	
<i>Pinus radiata</i> D. Don	P1	754319		9754514		3660	
	P2	754209		9754534		3630	
	P3	754341		9754606		3650	
	P4	754278		9754421		3670	
	P5	754271		9754189		3700	
	P6	754143		9754065		3680	
	P7	753818		9753654		3560	
	P8	754011		9753937		3610	

Elaborado por: Novoa. R

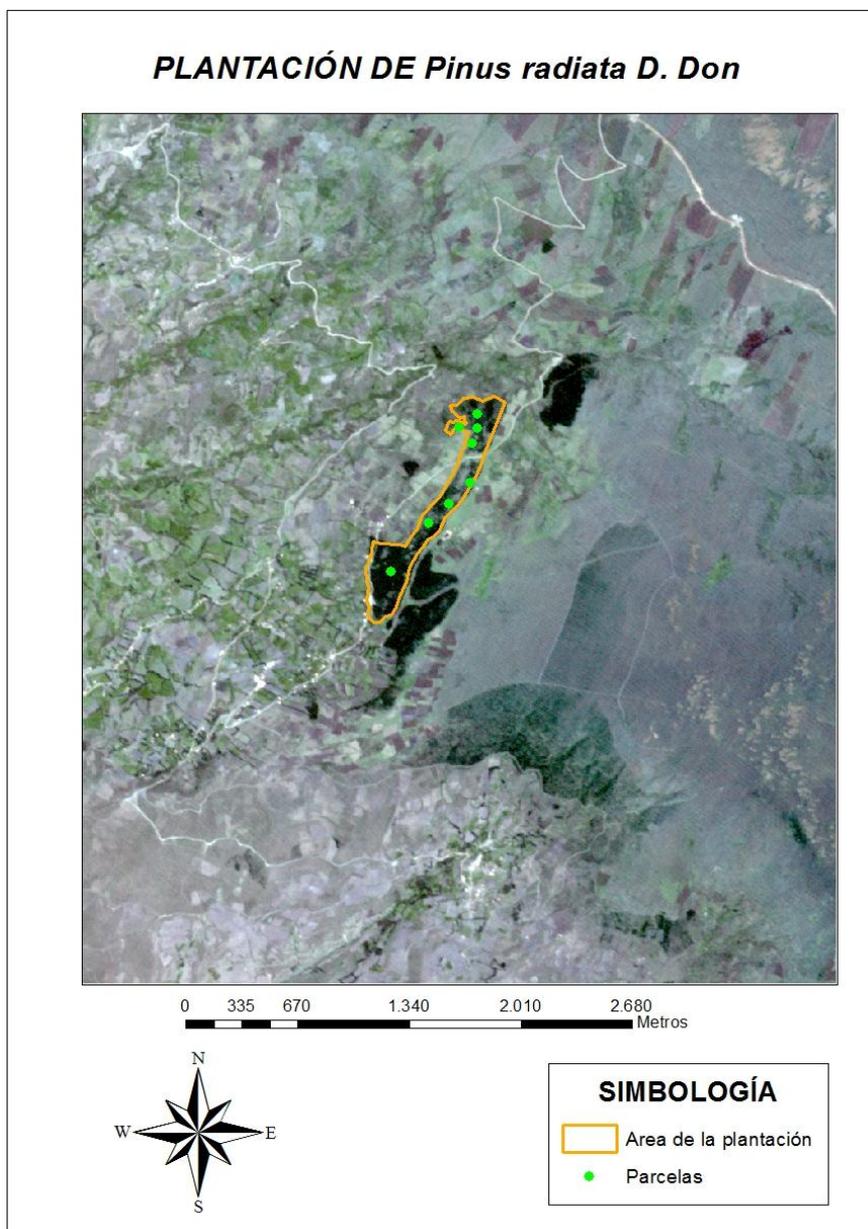
Mapa 1. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio



Elaboración por: Novoa. R

En el Mapa 2 se indica la ubicación de las parcelas y los puntos de muestreo, seleccionando las parcelas en buen estado como las de mal estado las cuales fueron ubicadas previo a una salida al campo donde se identificó los lugares que había problemas fitosanitarios dentro de la plantación además los que no tenían estos tipos de problemas y se establecieron las 8 parcelas (4 parcelas buenas y 4 en mal estado) distribuidas aleatoriamente dentro de las 26 hectáreas de la plantación de *Pinus radiata* D. Don.

**Mapa 2.** Mapa de ubicación de las parcelas y puntos de muestreo



**Elaborado por:** Novoa. R

## 2. Medición de variables cuantitativas de medida

**Tabla 15.** Variables dasométricas de la parcela P 001: clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,280	0,283	0,282	1	0,28
2	0,284	0,288	0,286	0	0
3	0,289	0,292	0,290	20	6,13
4	0,293	0,296	0,294	0	0
5	0,297	0,300	0,299	13	4,35
6	0,301	0,305	0,303	0	0,00
7	0,306	0,310	0,308	11	3,89
<b>TOTAL</b>					<b>15</b>

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 15 se indica la información de las variables dasométricas correspondientes a la parcela 001, donde se registran 7 clases, teniendo que la clase 1 los valores más bajos que van desde 0,280 m a 0,283 m y la clase 7 los valores más altos que van desde 0,306 m a 0,310 m. La clase con mayor número de árboles (20) y con un volumen de madera de 6,13 m<sup>3</sup>, la podemos encontrar en la clase número 3, mientras que la de menor presencia de árboles (1) y con un volumen de madera de 0,28 m<sup>3</sup> se encontró en la clase 1. En esta parcela el volumen medio de madera fue de 0,32 m<sup>3</sup>, con una desviación standard de 0,037 (Anexo 3). Cabe mencionar que no hay ningún árbol que entren las clases dasométricas 4 y 6.

**Tabla 16.** Variables dasométricas de la parcela P004 clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,260	0,277	0,27	2	0,46
2	0,278	0,296	0,29	1	0,28
3	0,297	0,314	0,31	1	0,37
4	0,315	0,332	0,32	1	0,54
5	0,333	0,351	0,34	7	3,18
6	0,352	0,370	0,36	19	9,45
<b>TOTAL</b>					<b>14</b>

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 16 se señala las variables dasométricas correspondientes a la parcela P004, donde se registra 6 clases; teniendo en la clase 1 los valores más bajos que van desde 0,260 m a 0,277 m, y en la clase 6 los valores más altos que van desde 0,352 m a 0,370 m. Las clases con mayor número de árboles (19) y con un volumen de madera de 9,45 m<sup>3</sup>, la podemos encontrar en la clase 6; mientras que la menor presencia de árboles y volumen de madera se registran en: las clases 2 (1 árbol: 0,28 m<sup>3</sup>), la clase 3 (1 árbol: 0,37 m<sup>3</sup>), y en la clase 4 (1 árbol: 0,54 m<sup>3</sup>). En esta parcela el volumen medio de madera fue de 0,45 m<sup>3</sup>, con una desviación standard 0,09 (Anexo 3).

**Tabla 17.** Variables dasométricas de la parcela P 005: clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,360	0,379	0,370	4	2,23
2	0,380	0,399	0,390	0	0
3	0,400	0,419	0,410	2	1,27
4	0,420	0,439	0,430	8	5,58
5	0,440	0,459	0,450	4	3,19
6	0,460	0,480	0,470	5	5,22
<b>TOTAL</b>					<b>17</b>

Elaborado por: Novoa

En la Tabla 17 se indica la información de las variables dasométricas correspondientes a la parcela P005, donde se registran 6 clases, teniendo en la clase 1 los valores más bajos que van desde 0,360 m a 0,379 m y en la clase 6 los valores más altos que van desde 0,460 m a 0,480 m. La clase con mayor número de árboles (8) y con un volumen de madera de 5,58 m<sup>3</sup>, la podemos encontrar en la clase 4, mientras que la menor presencia de árboles (2) y con un volumen de madera de 1,27 m<sup>3</sup> se encontró en la clase 3. En esta parcela el volumen medio de madera fue de 0,74 m<sup>3</sup>, con una desviación standard de 0,18 (Anexo 3). Cabe mencionar que no hay ningún árbol que entre en la clase dasométrica número 2.

**Tabla 18.** Variables dasométricas de la parcela P007: clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,380	0,403	0,392	2	1,22
2	0,404	0,427	0,416	3	1,64
3	0,428	0,451	0,440	7	5,16
4	0,452	0,475	0,464	9	7,70
5	0,476	0,500	0,488	1	0,89
<b>TOTAL</b>					<b>17</b>

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 18 se indica la información de las variables dasométricas correspondientes a la parcela P007, donde se registraron 5 clases, teniendo en la clase 1 los valores más bajos que van desde 0,380 m a 0,403 m y en la clase 5 los valores más altos que van desde 0,476 m a 0,500 m. La clase con mayor número de árboles (9) y con un volumen de madera de 7,70 m<sup>3</sup> la podemos encontrar en la clase 4; mientras que la de menor número de árboles (1) y con un volumen de madera de 0,89 m<sup>3</sup> se encontró en la clase 5. En esta parcela el volumen medio de madera fue de 0,74 m<sup>3</sup>, con una desviación standard de 0,15 (Anexo 3).

**Tabla 19.** Variables dasométricas de la parcela P002: clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,220	0,247	0,234	10	1,38
2	0,248	0,276	0,262	0	0,000
3	0,277	0,305	0,291	6	1,28
4	0,305	0,332	0,319	1	0,26
5	0,333	0,361	0,347	6	2,26
6	0,362	0,390	0,376	4	1,65
<b>TOTAL</b>					<b>7</b>

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 19 se indica la información de las variables dasométricas correspondientes a la parcela P002, donde se registran 6 clases; teniendo en la clase 1 los valores más bajos

que van desde 0,220 m a 0,247 m y en la clase 6 los valores más altos que van desde 0,362 m a 0,390 m. La clase con mayor número de árboles (10) y con un volumen de madera de 1,38 m<sup>3</sup> la podemos encontrar en la clase 1; mientras que el de menor número de árboles (1) y con un volumen de madera de 0,26 m<sup>3</sup> se encontró en la clase 4. En esta parcela el volumen medio de madera fue de 0,22 m<sup>3</sup> de madera, con una desviación standard de 0,13 (Anexo 3). Cabe mencionar no hay ningún árbol que entre en la clase dasométrica número 2.

**Tabla 20.** Variables dasométricas de la parcela P003: clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,210	0,237	0,224	10	1,297
2	0,238	0,266	0,252	0	0,000
3	0,267	0,294	0,280	2	0,441
4	0,295	0,322	0,309	7	1,399
5	0,323	0,351	0,337	1	0,350
6	0,352	0,380	0,366	11	4,176
<b>TOTAL</b>					<b>8</b>

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 20 se indica la información de las variables dasométricas correspondientes a la parcela P003, donde se registran 6 clases, teniendo en la clase 1 los valores más bajos que van desde 0,210 m a 0,237 m y en la clase 6 los valores más altos que van desde 0,352 m a 0,380 m. La clase con mayor número de árboles (11) y con un volumen de madera de 4,176 m<sup>3</sup> la podemos encontrar en la clase 6; mientras que la menor presencia de árboles (1) y con un volumen de madera de 0,350 m<sup>3</sup> se encontró en la clase 5. En esta parcela el volumen medio de madera fue de 0,21 m<sup>3</sup>, con una desviación standard de 0,13 (Anexo 3). Cabe mencionar no hay ningún árbol que entre en la clase dasométrica número 2.

**Tabla 21.** Variables dasométricas de la parcela P008: clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,120	0,187	0,154	1	0,032
2	0,188	0,255	0,222	1	0,145
3	0,256	0,323	0,290	2	0,570
4	0,324	0,391	0,358	11	3,644
5	0,392	0,460	0,426	3	2,227
<b>TOTAL</b>					<b>7</b>

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 21 se indica la información de las variables dasométricas correspondientes a la parcela P008, donde se registran 5 clases, teniendo en la clase 1 los valores más bajos que van desde 0,120 m a 0,187 m y en la clase 5 los valores más altos que van desde 0,392 m a 0,460 m. La clase con mayor número de árboles (11) y con un volumen de madera de 3,644 m<sup>3</sup> la podemos encontrar en la clase 4; mientras que la de menor presencia de árboles y con un volumen de madera se registran en: en la clase 1 (1 árbol: 0,032 m<sup>3</sup>) y en la clase 2 (1 árbol: 0,145 m<sup>3</sup>). En esta parcela el volumen de madera medio fue de 0,31 m<sup>3</sup>, con una desviación standard de 0,20 (Anexo 3).

**Tabla 22.** Variables dasométricas de la parcela P006: clases diamétricas y volumen total.

Clases diamétricas	Intervalos de los diámetros (m)		Marca de clase de los diámetros (m)	N° árboles	Volumen total (m <sup>3</sup> )
	L Inf	L Sup			
1	0,120	0,166	0,143	2	0,067
2	0,167	0,212	0,190	0	0,000
3	0,213	0,259	0,237	1	0,137
4	0,260	0,306	0,283	2	0,416
5	0,307	0,352	0,330	14	3,672
6	0,353	0,400	0,377	7	2,544
<b>TOTAL</b>					<b>7</b>

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 22 se indica la información de las variables dasométricas correspondientes a la P006, en donde se registran 6 clases, teniendo en la clase 1 los valores más bajos que

van desde 0,120 m a 0,166 m, y en la clase 6 los valores más altos que van desde 0,307 m a 0,352 m. La clase con mayor número de árboles (14) y con un volumen de madera de 3,672 m<sup>3</sup> la podemos encontrar en la clase 5; mientras que la menor presencia de árboles (1) y con un volumen de madera de 0,067 m<sup>3</sup> se encontró en la clase 3. En esta parcela el volumen medio de madera fue de 0,23 m<sup>3</sup>, con una desviación standard de 0,12 (Anexo 3). Cabe mencionar no hay ningún árbol que entre en la clase dasométrica número 2.

### **3. Evaluación de estado fisiológico de la Plantación de *Pinus radiata* D. Don**

Según los datos proporcionados por la Ingeniera María Gallardo Técnica de la área Forestal de Aglomerados Cotopaxi el volumen madera (m<sup>3</sup>) que cosechan en una plantación de una hectárea de *Pinus radiata* D. Don en buen estado es de 400 a 375 m<sup>3</sup>, por lo tanto, en una parcela de 500 m<sup>2</sup> el volumen de madera varía entre 20 m<sup>3</sup> y 18,75 m<sup>3</sup> de madera. Al contrario en una parcela en mal estado la cosecha es de 180 m<sup>3</sup> entonces en una parcela de 500 m<sup>2</sup> el volumen de madera es de 9 m<sup>3</sup>. Estas cantidades de madera son obtenidas gracias al manejo silvicultural que se da a cada una de estas plantaciones. En la plantación donde se realizó la presente investigación no existe tal manejo silvicultural por lo tanto hay una menor cantidad de madera por cada parcela establecida en el área de estudio, como se indica en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Volumen de madera *Pinus radiata* D. Don por parcelas de 500 m<sup>2</sup> estudiada en la provincia de Chimborazo, Cantón Alausi, parroquia Achupallas, Comunidad Cobshe Alto.

PARCELA	Nº	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
Buen Estado	1	15
Buen Estado	4	14
Buen Estado	5	17
Buen Estado	7	17
Mal Estado	2	7
Mal Estado	3	8
Mal Estado	8	7
Mal Estado	6	7

**Elaborado por:** Novoa. R

Los datos proporcionado por la Ingeniera María Gallardo con respecto al volumen de madera que sacan por hectárea ayudó a identificar y clasificar a las parcelas de esta investigación, como parcelas en buen estado o parcelas en mal estado como se observa en la Tabla 23.

Además, se evaluó el estado fisiológico de cada una de las parcelas con la ayuda del formulario de campo proporcionado por el MAE/FAO 2012 (Grafico 7) donde se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 24.** Estado sanitario de la parcela P001, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	Nº ÁRBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	45	100
CF (Calidad Fuste)	1	45	100
COFIT( Condición fitosanitaria)	1	45	100
GCOFIT (Grado de condición fitosanitaria)	1	45	100
Dominancia	1	21	47
	2	24	53

**Elaborado por:** Novoa. R

En la parcela P001 se evaluaron el EA (estado del árbol), CF (calidad del fuste), COFIT (Condición fitosanitario), GCOFIT (Grado de condición fitosanitario), la dominancia y además la vejez del tocón en casos de que si existiera la presencia de este tipo de estado. Esta evaluación se hizo a todas las parcelas que se monitorearon dentro de la plantación.

En el Tabla 24 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P001 en donde por los datos registrados se los clasificó como una parcela en buen estado. El EA fue de tipo 1 (Tabla 3) que significa que los árboles están vivos. La CF fue de tipo 1 (Tabla 4) que significa que los 45 árboles evaluados están en estado óptimo. La COFIT fue de tipo 1 (Tabla 5) debido a que los 45 árboles evaluados estaban en condición sana. La GCOFIT fue de tipo 1 (Tabla 6) debido a que los 31 árboles evaluados estaban sanos. Por ultimo dentro de la dominancia tenemos 21 árboles que fueron dominantes y 24 árboles co-dominantes.

**Tabla 25.** Estado sanitario de la parcela P004, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	N° ÁRBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	31	100
CF (Calidad Fuste)	1	31	100
COFIT( Condición fitosanitaria)	1	31	100
GCOFIT (Grado de condición fitosanitaria)	1	31	100
Dominancia	1	19	61
	2	12	39

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 25 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P004 en donde por los datos registrados se los clasifico como una parcela en buen estado. El EA fue tipo 1 (Tabla 3) que significa que los árboles están vivos, de los 31 árboles presentes todos estaban vivos, la CF fue de tipo 1 (Tabla 4) que significa que los 31 árboles evaluados están en estado óptimo, la COFIT fue de tipo 1 (Tabla 5) debido a que los 31 árboles evaluados estaban en condición sana, la GCOFIT fue de tipo 1 (Tabla 6) debido a que los 31 árboles evaluados estaban sanos y por último dentro de la dominancia tenemos 19 árboles que fueron dominantes y 12 árboles co-dominates.

**Tabla 26.** Estado sanitario de la parcela P005, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	N° ÁRBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	23	100
CF (Calidad Fuste)	1	10	43
	2	13	57
COFIT( Condición fitosanitaria)	1	23	100
GCOFIT (Grado de condición fitosanitaria)	1	23	100
Dominancia	1	23	100

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 26 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P005 en donde por los datos registrados se los clasificó como una parcela en buen estado. El EA es de tipo 1 (Tabla 3) que significa que los árboles están vivos. La CF es de tipo 1 y 2 (Tabla 4) que significa que de los 23 árboles evaluados: 10 árboles son de calidad óptima y 13 árboles de calidad media. La COFIT fue de tipo 1 (Tabla 5) debido a que los 23 árboles evaluados están en condición sana. La GCOFIT fue de tipo 1 (Tabla 6) debido a que los

23 árboles están sanos. Por último, dentro de la dominancia tenemos que los 23 árboles evaluados todos son dominantes.

**Tabla 27.** Estado sanitario de la parcela P007, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	N° ÁRBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	22	100
CF (Calidad Fuste)	1	22	100
COFIT( Condición fitosanitaria)	1	22	100
GCOFIT (Grado de condición fitosanitaria)	1	22	100
Dominancia	1	16	73
	2	6	27

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 27 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P007 en donde por datos registrados se los clasificó como una parcela en buen estado. El EA fue de tipo 1 (Tabla 3) que significa que los árboles están vivos. La CF fue de tipo 1 (Tabla 4) que significa que los 22 árboles evaluados están en estado óptimo. La COFIT fue de tipo 1 (Tabla 5) debido a que los 22 árboles evaluados estaban en condición sana. El GCOFIT fue de tipo 1 (Tabla 6) debido a que los 22 árboles evaluados estaban sanos. Por último, dentro de la dominancia 16 fueron dominantes y 6 árboles co-dominantes.

**Tabla 28.** Estado sanitario de la parcela P002, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	N° ÁRBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	23	85
	2	4	15
CF (Calidad Fuste)	2	23	85
	3	4	15
COFIT( Condición fitosanitaria)	1	23	85
	6	3	11
	8	1	4
GCOFIT (Grado de condición fitosanitaria)	1	14	52
	2	9	33
	3	4	15
DOMINANCIA	1	11	41
	2	11	41
	3	5	18

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 28 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P002 en donde por los datos registrados se los clasificó como una parcela en mal estado. El EA fue de tipo 1 y 2 (Tabla 3), donde 23 árboles están vivos y 4 árboles están muertos en pie, con copa y ramas, pero sin hojas. La CF fue de tipo 2 y 3 (Tabla 4), donde 23 árboles son de calidad media y 4 árboles son de calidad baja. La COFIT fue de tipo 1, 6 y 8 (Tabla 5), donde 23 árboles estaban sanos, 3 árboles estaban afectados por plagas o enfermedades. El GCOFIT fue de tipo 1, 2 y 3 (Tabla 6), donde 14 árboles estaban sanos, 9 árboles estaban en condiciones graves y 4 árboles estaban en condiciones severas. Por último, dentro de la dominancia 11 árboles fueron dominantes, 11 árboles fueron co-dominantes y 5 árboles fueron suprimidos.

**Tabla 29.** Estado sanitario de la parcela P003, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	Nº ARBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	23	74
	2	8	26
CF (Calidad Fuste)	2	23	74
	3	8	26
COFIT( Condición fitosanitaria)	1	23	74
	6	8	26
GCOFIT (Grado de condición fitosanitaria)	1	13	42
	2	10	32
	3	8	26
DOMINANCIA	1	17	55
	2	6	19
	3	8	18

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 29 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P003 en donde por los datos registrados se los clasificó como una parcela en mal estado. El EA fue de tipo 1 y 2 (Tabla 3), donde 23 árboles están vivos y 8 árboles están muertos en pie, con copa y ramas, pero sin hojas. La CF fue de tipo 2 y 3 (Tabla 4), donde 23 árboles son de calidad media y 8 árboles son de calidad baja. La COFIT fue de tipo 1 y 6 (Tabla 5), donde 23 árboles estaban sanos y 8 árboles estaban afectados por plagas o enfermedades. El GCOFIT fue de tipo 1, 2 y 3 (Tabla 6) donde 13 árboles estaban sanos, 10 árboles estaban en condiciones graves y 8 árboles estaban en condiciones severas. Por último, dentro de la dominancia 17 árboles fueron dominantes, 6 árboles fueron co-dominantes y 8 árboles fueron suprimidos.

**Tabla 30.** Estado sanitario de la parcela P008, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	Nº ÁRBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	12	67
	2	6	33
CF (Calidad Fuste)	2	1	6
	3	17	94
COFIT( Condición fitosanitaria)	2	1	6
	6	17	94
GCOFIT (Grado de condición fitosanitaria)	2	5	28
	3	13	72
DOMINANCIA	3	18	100

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 30 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P008 en donde por los datos registrados se los clasificó como una parcela en mal estado. El EA fue de tipo 1 y 2 (Tabla 3), donde 12 árboles están vivos y 6 árboles están muertos en pie, con copa y ramas, pero sin hojas. La CF fue de tipo 2 y 3 (Tabla 4), donde 1 árbol es de calidad media y 17 árboles son de calidad baja. La COFIT fue de tipo 2 y 6 (Tabla 5), donde 1 estaba con el fuste quemado y 17 árboles estaban afectados por plagas o enfermedades. El GCOFIT fue de tipo 2 y 3 (Tabla 6), donde 5 árboles estaban en condiciones graves y 13 árboles estaban en condiciones severas. Por último, dentro de la dominancia de los 31 árboles evaluados todos fueron árboles suprimidos.

**Tabla 31.** Estado sanitario de la parcela P006, según metodología MAE/FAO 2012

SIGNIFICANCIA	TIPO DE ESTADO	Nº ÁRBOLES	PORCENTAJE %
E (Estado del árbol)	1	20	77
	2	6	23
CF (Calidad Fuste)	2	9	35
	3	17	65
COFIT( Condición fitosanitaria)	6	25	35
	10	1	96
GCOFIT (Grado de condición fitosanitario)	2	15	58
	3	11	42
DOMINANCIA	1	1	4
	2	16	62
	3	9	18

Elaborado por: Novoa. R

En la Tabla 31 podemos observar los datos obtenidos de la parcela P006 en donde por los datos registrados se los clasificó como una parcela en mal estado. El EA fue de tipo 1 y 2 (Tabla 3), donde 20 árboles están vivos y 6 árboles están muertos en pie, con copa y ramas, pero sin hojas. La CF fue de tipo 2 y 3 (Tabla 4), donde 9 árboles son de calidad media y 17 árboles son de calidad baja. La COFIT fue de tipo 6 y 10 (Tabla 5), donde 25 árboles estaban afectados por plagas o enfermedades y 1 árbol estaba con otro tipo de condición. El GCOFIT fue de tipo 2 y 3 (Tabla 6) donde 15 árboles estaban en condiciones graves y 11 árboles estaban en condiciones severas. Por último, dentro de la dominancia 1 árbol fue dominante, 16 árboles fueron co-dominantes y 9 árboles fueron suprimidos.

Gracias a la evaluación realizada en campo se pudo clasificar las parcelas en buen estado y las que están en mal estado, siendo así que de las 8 parcelas evaluadas en las 26 hectáreas, 4 parcelas están en buen estado y 4 en mal estado como se indica en la Tabla 23.

#### **4. Calificación de la calidad de las parcelas en función del coeficiente de variación**

**Tabla 32.** Calidad de la parcela P001 en base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y altura comercial.

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	13	301	217
MEDIA	0,30	6,65	4,78
S	0,009	0,622	0,610
CV (%)	3	9	13

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 32 se indica información de la parcela P001 correspondiente a la calidad de la parcela en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde los coeficientes de variación (CV) del DAP es del 3 % (Excelente), de la altura total es del 9 % (Excelente) y altura comercial es del 13 % (Aceptable). Por lo tanto a esta parcela se la califica como una parcela aceptable, es decir en buen estado.

**Tabla 33.** Calidad de la parcela P004 en base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial.

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	11	211	144
MEDIA	0,35	6,75	4,58
S	0,03	0,85	0,75
CV (%)	8	13	16

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 33 se indica la información de la parcela P004 correspondiente a la calidad de la parcela en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde los coeficientes de variación (CV) del DAP es del 8 % (Excelente), de la altura total es del 13 % (Aceptable) y de la altura comercial es del 16 % (Aceptable). Por lo tanto, a esta parcela se la califica como aceptable, es decir, en buen estado.

**Tabla 34.** Calidad de la parcela P005 con base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial.

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	10	173	118
MEDIA	0,42	7,48	5,09
S	0,035	0,846	0,626
CV (%)	8	11	12

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 34 se indica la información de la parcela P005 correspondiente a la calidad de la plantación en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde los coeficientes de variación (CV) del DAP es del 8 % (Excelente), de la altura total es del 11 % (Aceptable) y de la altura comercial es del 12 % (Aceptable). Por lo tanto, a esta parcela se la califica como aceptable, es decir, en buen estado.

**Tabla 35.** Calidad de la parcela P007 con base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	10	150	117
MEDIA	0,45	6,77	5,27
S	0,033	0,795	0,641
CV (%)	7	12	12

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 35 se indica la información de la parcela P007 correspondiente a la calidad de la parcela en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde los coeficientes de variación (CV) del DAP es del 7 % (Excelente), de la altura total es del 12 % (Aceptable) y de la altura comercial es del 12 % (Aceptable). Por lo tanto, a esta parcela se la califica aceptable, es decir, en buen estado.

**Tabla 36.** Calidad de la parcela P002 con base a los coeficientes de variación del DAP, altura total y de la altura comercial

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	8	132	55
MEDIA	0,29	4,60	1,69
S	0,06	1,49	0,76
CV (%)	21	32	45

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 36 se indica la información de la parcela P002 correspondiente a la calidad de la parcela en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde los coeficientes de variación (CV) del DAP es del 21 % (No Aceptable), de la altura total es del 32 % (No aceptable) y de la altura comercial es de 45 % (No Aceptable). Por lo tanto, esta parcela tiene una calificación de no aceptable o en mal estado.

**Tabla 37.** Calidad de la parcela P003 con base a los coeficientes de variación del DAP, de la altura total y de la altura comercial.

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	9	149	70
MEDIA	0,29	4,53	2,14
S	0,066	1,484	0,681
CV (%)	23	33	32

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 37 se indica la información de la parcela P003 correspondiente a la calidad de la parcela en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde el coeficiente de variación (CV) del DAP es del 23 % (No aceptable), de la altura total es del 33 % (No aceptable) y de la altura comercial es de 32 % (No aceptable). Por lo tanto, la calificación de esta parcela es no aceptable o en mal estado.

**Tabla 38.** Calidad de la parcela P008 con base a los coeficientes de variación del DAP, de la altura total y de la altura comercial.

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	6	93	23
MEDIA	0,33	5,01	1,06
S	0,079	1,174	0,643
CV (%)	24	23	61

**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 38 se indica la información de la parcela P008 correspondiente a la calidad de la parcela en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde los coeficientes de variación (CV) del DAP es del 24 % (No aceptable), de la altura total es del 23 % (No aceptable) y de la altura comercial es del 61 % (No aceptable). Por lo tanto, la calificación de esta parcela es de no aceptable o en mal estado.

**Tabla 39.** Calidad de la parcela P006 con base a los coeficientes de variación del DAP, de la altura total y de la altura comercial.

	DAP (m)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA COMERCIAL (m)
SUMA	8	114	42
MEDIA	0,31	4,23	1,50
S	0,07	1,11	0,59
CV (%)	22	26	39

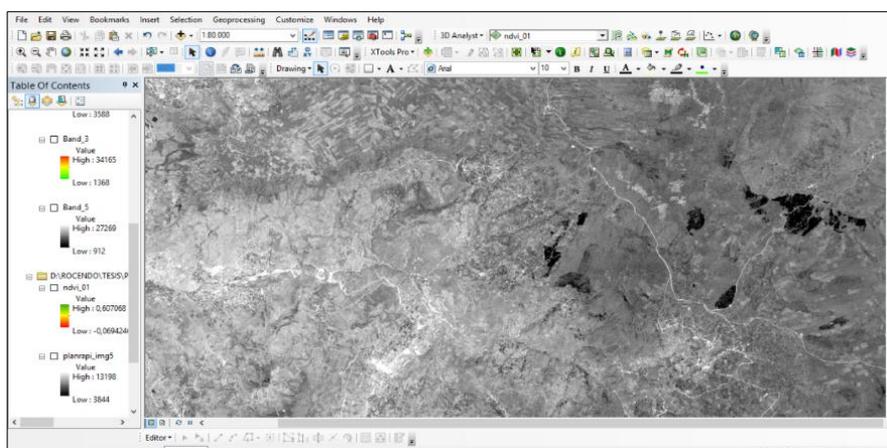
**Elaborado por:** Novoa. R

En la Tabla 39 se indica la información de la parcela P006 correspondiente a la calidad de la parcela en base al coeficiente de variación (Tabla 8), donde el coeficiente de variación (CV) del DAP es del 22 % (No aceptable), de la altura total es del 26 % (No aceptable) y de la altura comercial es del 39 % (No aceptable). Por lo tanto, la calificación de esta parcela es de no aceptable o en mal estado.

## **B. EVALUACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO UTILIZANDO EN EL SOFTWARE ENVI + IDL 5.0**

### **1. Realizar el recorte de la plantación de *Pinus radiata* D. Don en la imagen rapideye con la ayuda del software ENVI 5.0 y ArcMap 10.3**

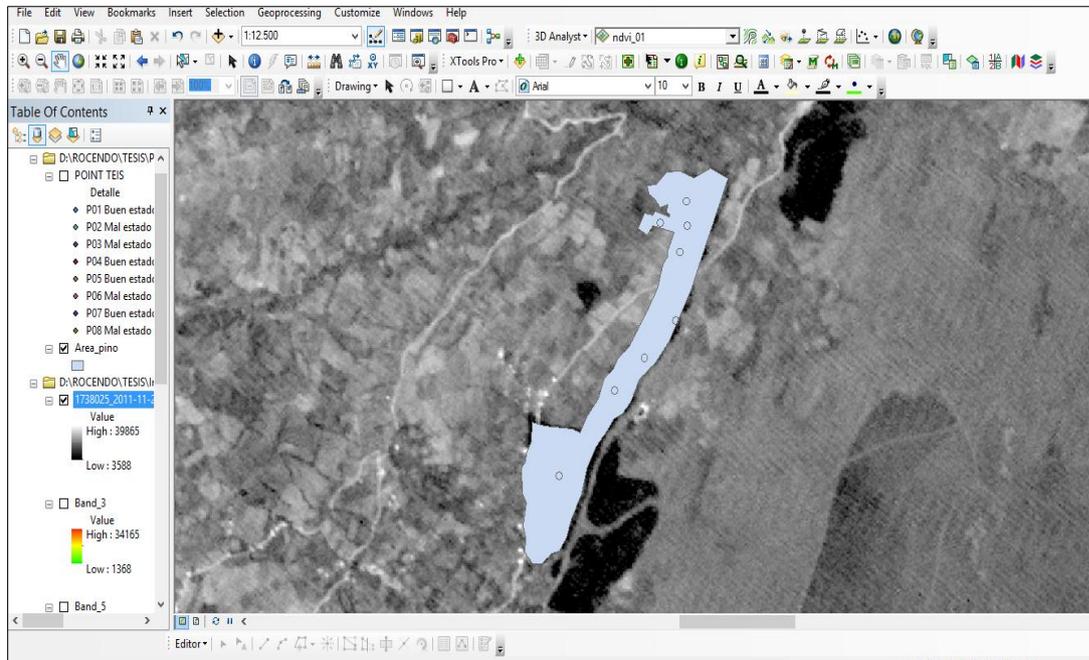
Realizado el proceso de selección de las imágenes rapideye donde se encuentra la plantación de *Pinus radiata* D. Don, se aplicó una clasificación supervisada con ayuda del software ENVI 5.0. Ya ubicada la plantación en la imagen rapideye, esta imagen se cargó al software ArcMap10.3 donde se realizó el recorte de la imagen. (Grafico 14)



**Elaborado por:** Novoa. R

**Gráfico 14.** Imagen rapideye de la plantación

Se cargó el área de la plantación para proceder a recortar la imagen Rapideye como se ve en el Grafico 15 y finalmente se obtuvo un Raster del área de estudio como se ve en el Mapa 3.

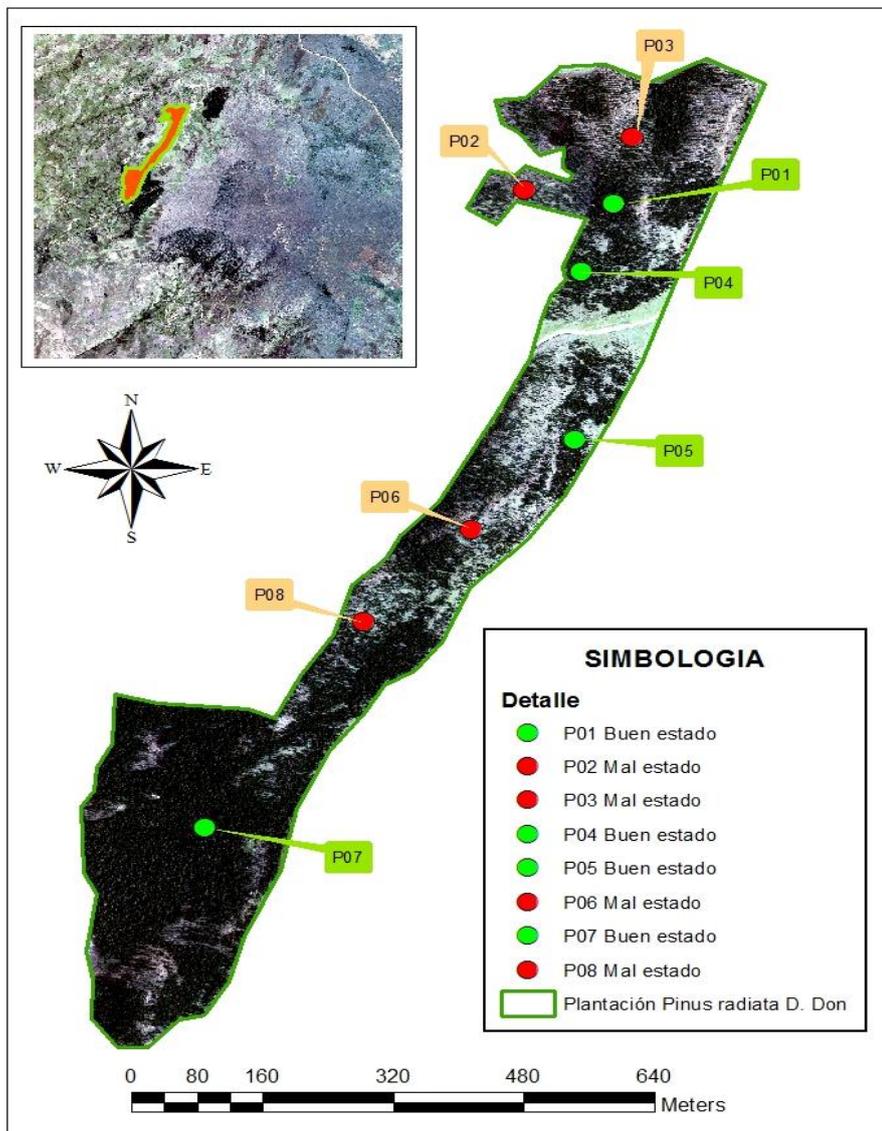


**Elaborado por:** Novoa. R

**Gráfico 15.** Área de la plantación a recorta en la imagen rapideye

**Mapa 3:** Plantación de *Pinus radiata* D. Don recorta en la imagen rapideye

**PLANTACION DE *Pinus radiata* D. Don**



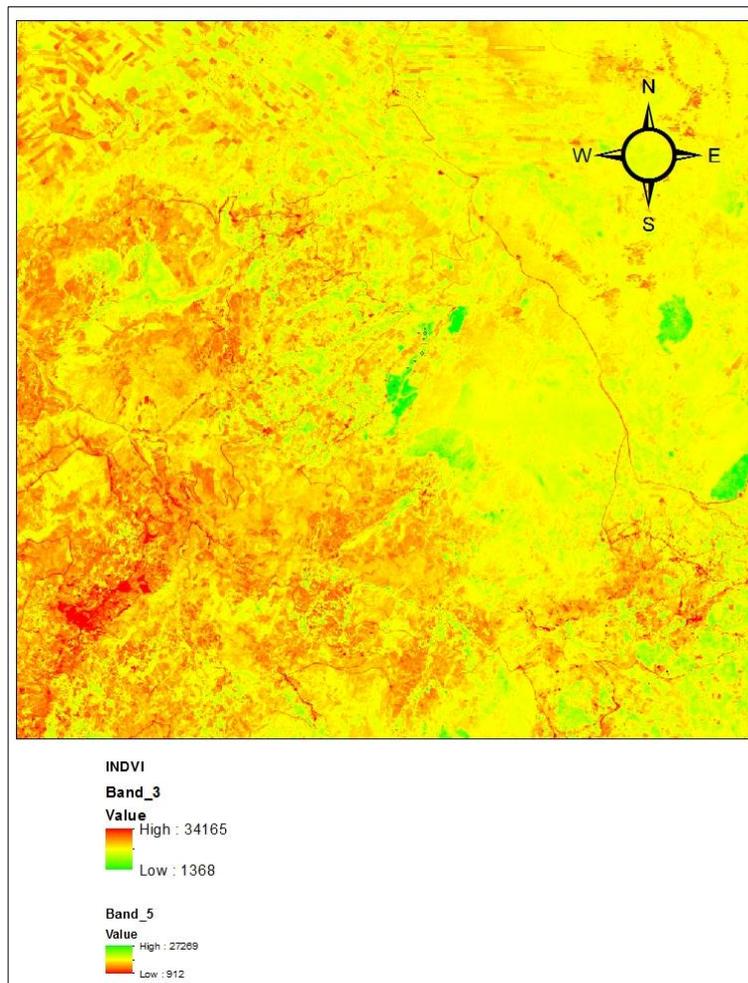
**Elaborado por:** Novoa. R

Por último, en el área de la plantación obtenida se observa las 8 parcelas distribuidas en la plantación, donde las 4 parcelas en buen estado están de color verde y las 4 parcelas en mal estado están de color rojo.

## 2. Calcular el NDVI con la ayuda del software ENVI 5.0

Con la imagen obtenida del de área de estudio se trabajó con dos bandas para la obtención del NDVI: la banda 3 (R) y la banda 5 (RE). Se obtuvo un mapa del NDVI (Índices de vegetación diferenciados), el cual nos permitió determinar cuál es el estado fisiológico de la plantación, a partir del software ENVI 5.0 con el cual se evaluó a cada una de las parcelas. (Ver Mapa 4)

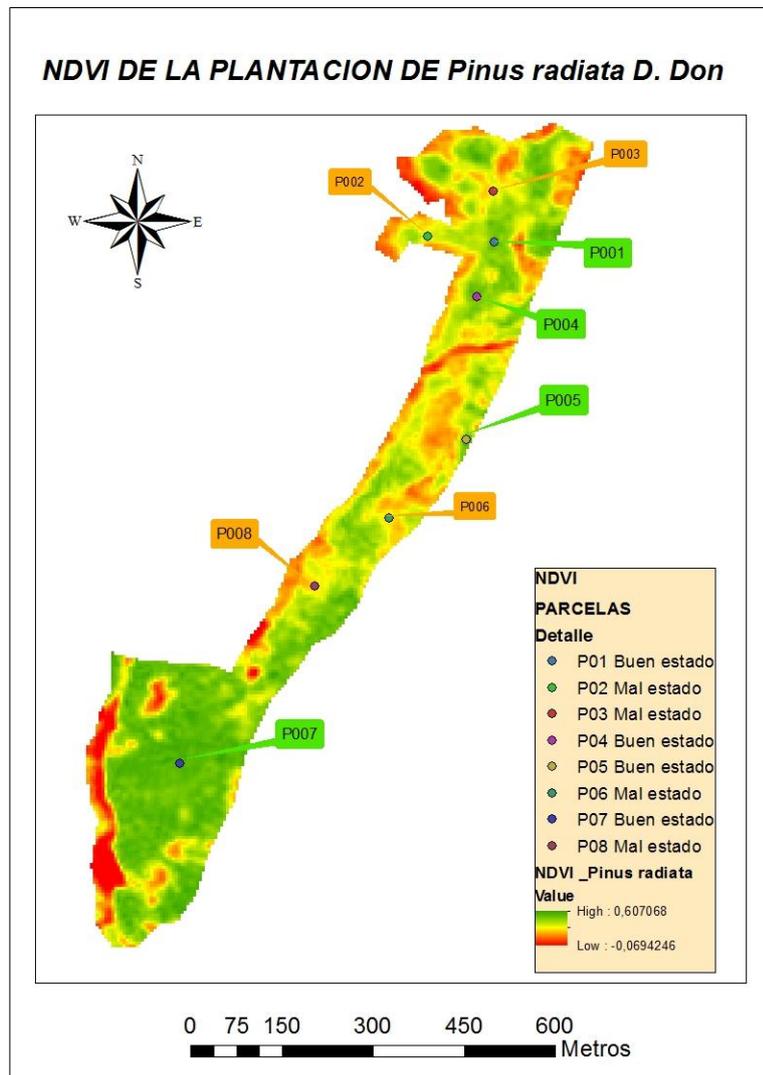
**Mapa 4.** NDVI – Plantación *Pinus radiata* D. Don



**Elaborado por:** Novoa. R

A partir de estos valores se recortó el área de estudio y de esta forma se obtuvo un solo raster con los diferentes índices que queremos evaluar. Se puede ver en el Mapa 4 los resultados del NDVI de la plantación de *Pinus radiata* D. Don. Además, se indica la distribución de las parcelas en buen estado y mal estado que se monitorearon en campo.

**Mapa 5.** NDVI de la plantación de *Pinus radiata* D. Don y la distribución de parcelas

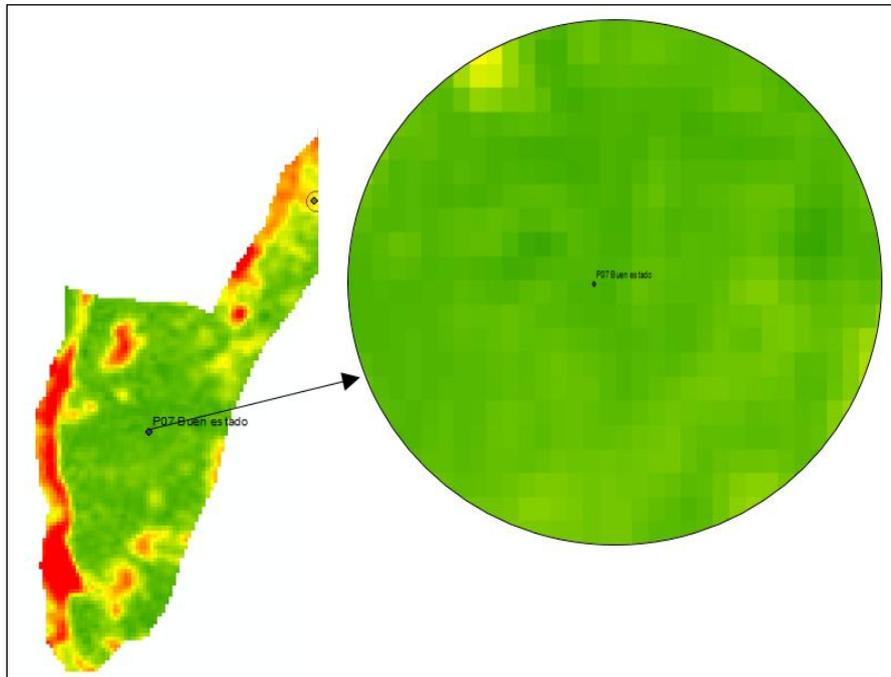


**Elaborado por:** Novoa. R

En el Mapa 5 se muestra la condición de la vegetación actual, reflejada por el índice de la diferencia de vegetación Normalizado (NDVI), este nos muestra un valor entre -1 y +1 para cada píxel, cuando el NDVI está cerca de +1 indica abundancia de la vegetación o buen estado de la misma, sucede lo contrario con las parcelas que tienen una anomalía o se encuentran en mal estado donde la tendencia es a -1.

Una vez generado el mapa del NDVI y la ubicación de las parcelas monitoreadas en campo dentro del mapa, para poder comprobar que los píxeles nos indicaban el buen o mal estado de la plantación, y corroborar que estos datos coincidan con los obtenidos en campo, se evaluó uno a uno cada píxel que conforma la parcela en campo. Para poder visualizar y entender mejor se le dio al raster una coloración donde rojo nos indica

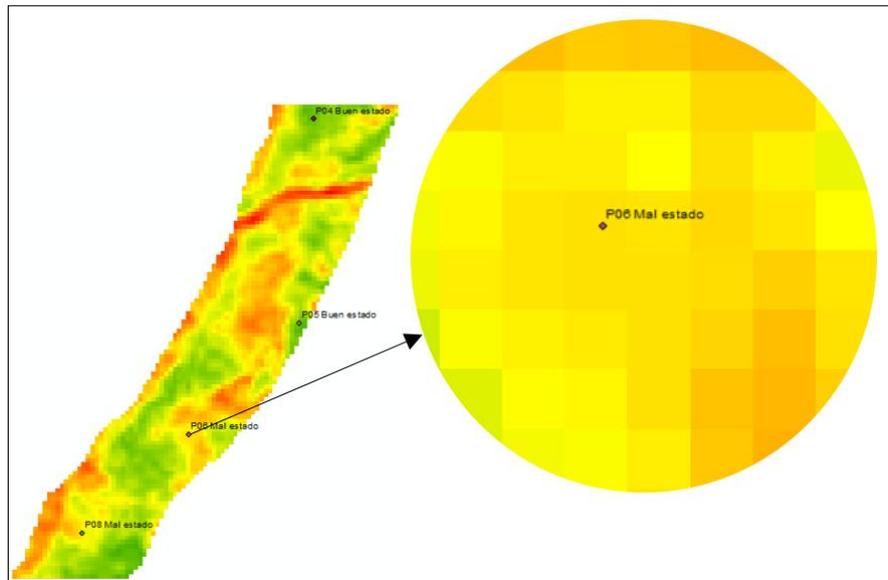
zonas enfermas o sin vegetación y el color verde zonas sanas y con vegetación abundante (Grafico 16 y 17).



**Elaborado:** Novoa. R

**Gráfico 16.** NDVI P007 - Buen Estado

Los niveles de reflectancia de luz sobre los cuerpos en la tierra son diferentes, y así mismo la coloración que toma los píxeles tanto en parcelas en buen estado y mal estado es diferente, variando de acuerdo con la información que posee cada píxel que es de -1 a 1. La parcela P007 que se clasificó como en buen estado presenta valores cercanos a 1 y debido toma una coloración verde (Gráfico 16), esto nos quiere decir que los doseles tienen concentraciones apropiadas de clorofila y nitrógeno (1-2%), por tanto absorben la luz fotosintéticamente activa (RFA, roja, azul) y refleja la luz verde e infrarroja lo que este tipo de patrón es característico de estas parcelas. Además, tiene una reflectancia baja en el visible aunque un pico en el color verde debido a la presencia de la clorofila en las plantas. La efectividad es muy alta en el infrarrojo cercano debido a la escasa absorción de la planta en esta banda.



Elaborado por: Novoa. R

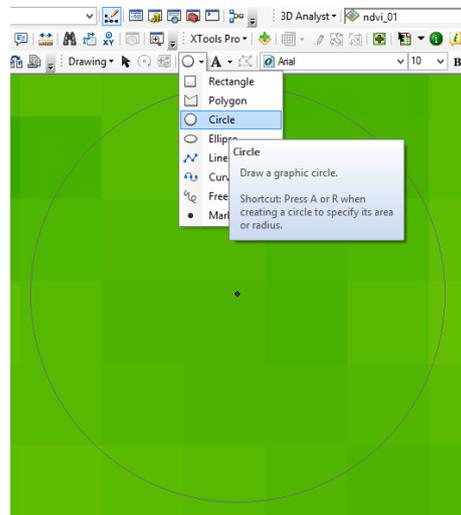
**Gráfico 17.** NDVI P006 - Mal Estado

La parcela P006 se clasificó como una parcela en mal estado ya que presentan valores cercanos a -1 y debido a esto tomo una coloración cercana al rojo (Gráfico 17), esto quiere decir que hay una disminución en la reflectividad en las bandas infrarrojas y un incremento en el rojo y azul, además se sabe que el nivel de reflectancia depende del contenido de agua que existe en la planta, porque el contenido del agua aumenta la absorción de radiación en la planta.

Por lo tanto, podemos determinar que comparando las parcelas en óptimas condiciones nutricionales y sanitarias con parcelas en condiciones de estrés, los datos analizados permiten establecer diferencias entre parcelas buenas y malas (NDVI) que puede reflejar el estado fisiológico de la plantación en el campo. Las plantas sanas y vigorosas absorben más luz roja y reflejan más luz infrarroja (IRC) que aquellas con problemas fisiológicos. Este patrón puede variar entre plantas vecinas, con la edad de la hoja, y con la época del año en que las hojas son producidas. Por ejemplo, en comparación con plantas bien nutridas, los cultivos con deficiencias de nitrógeno muestran clorosis, amarillamiento, y cambios en las propiedades radiactivas del follaje, que pueden ser detectadas y medidas, por tanto, cuando un árbol es vigoroso, refleja mucha radiación solar en el infrarrojo cercano y poca en el rojo, y en consecuencia, se obtiene un NDVI elevado, en cambio, cuando un árbol está enfermo, pasa lo contrario.

### 3. Análisis del NDVI de los píxeles de las parcelas monitoreadas en campo

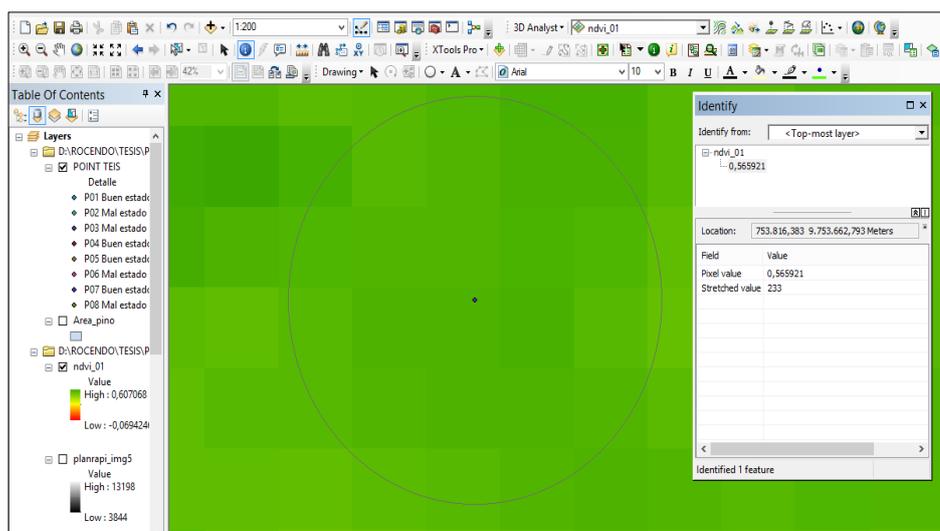
Con la ayuda de la herramienta Circle del ArcMap 10.3 se estableció el radio 12,60 m de cada una de las parcelas (Gráfico 18).



Elaborado por: Novoa. R

**Gráfico 18.** Radio de la parcela

Dentro del radio establecido se analizaron los píxeles con la herramienta Identify de ArcMap 10.3, que nos proporcionó el valor de los píxeles que en este caso lo valores son adimensionales. El número de píxeles evaluados variaron entre 21 a 23 en cada parcela (Gráfico 19).



Elaborado por: Novoa. R

**Gráfico 19.** Radio de píxeles a evaluar

Una vez obtenido todos los valores de los píxeles de las parcelas se analizó cada uno de ellos en Excel con la estadística descriptiva (Anexo 5) que posteriormente nos permitió calcular el coeficiente de variación de cada una de las parcelas y se obtuvieron los resultados que se pueden observar en la Tabla 40.

**Tabla 40.** Análisis estadístico de las parcelas en campo

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PARCELAS EN CAMPO								
DETALLE	PARCELAS							
	P001	P002	P003	P004	P005	P006	P007	P008
Media	0,528	0,3614	0,334	0,535	0,525	0,344	0,5739	0,384
Mediana	0,528	0,362	0,334	0,534	0,526	0,345	0,575	0,384
Moda	0,527	0,365	0,335	0,531	0,523	0,345	0,573	0,386
Desviación estándar	0,0051	0,0036	0,0032	0,0053	0,0050	0,0029	0,0055	0,0029
Varianza de la muestra	2,5837 9E-05	1,2620 6E-05	1,0545 5E-05	2,8264 8E-05	2,5079 1E-05	8,6561 3E-06	3,0446 6E-05	8,6640 3E-06
Mínimo	0,517	0,355	0,328	0,526	0,512	0,337	0,561	0,378
Máximo	0,539	0,367	0,339	0,546	0,533	0,349	0,581	0,389
Suma	12,138	8,313	7,682	12,307	12,086	7,918	13,2	8,835
Cuenta	23	23	23	23	23	23	23	23
CV	0,963	0,983	0,972	0,994	0,953	0,855	0,961	0,766

Elaborado: Novoa. R

Los datos obtenidos con la estadística descriptiva realizada en Excel no indican que el coeficiente de variación de las parcelas está entre los rangos de 0,766 a 0,994 los cuales son aceptables para presente estudio donde queremos determinar la homogeneidad de las mismas como nos menciona Galindo, 2015, por tanto, los píxeles evaluados que conforman cada uno de las parcelas son homogéneas entre si lo que nos permitió demostrar que los valores obtenidos en las parcelas no varían entre sí, indicándonos que cada una de ellas están en buen estado o mal estado respectivamente.

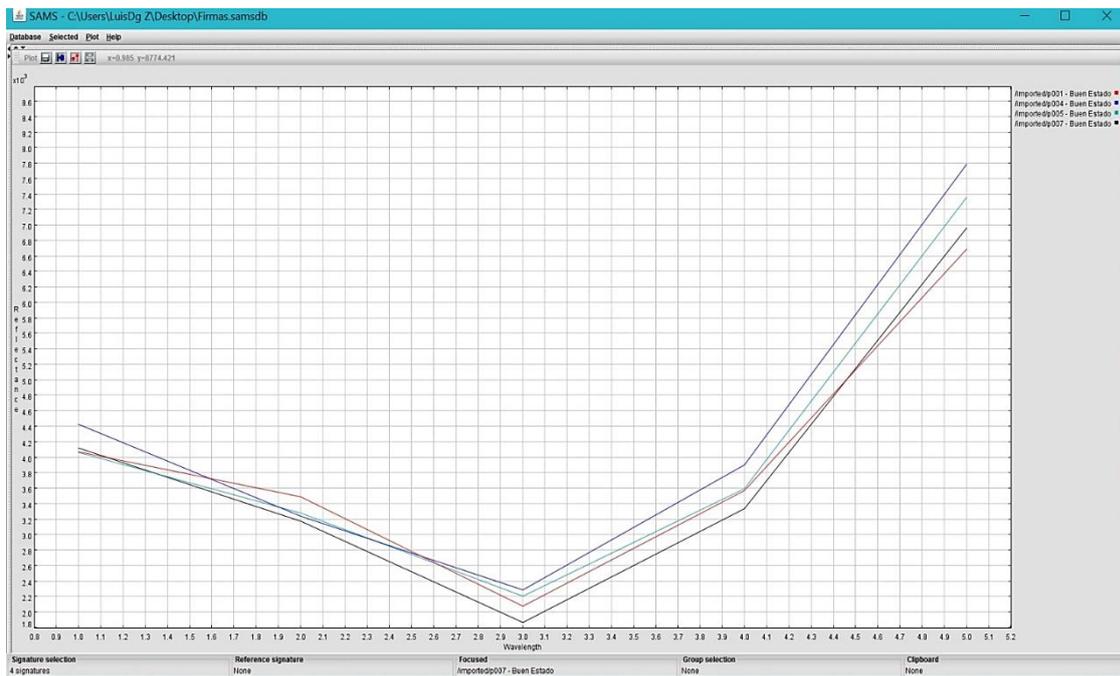
### **C. VALIDACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO GENERADO EN ENVI 5.0 A PARTIR DE UNA COMPARACIÓN CON LOS DATOS OBTENIDOS EN CAMPO MEDIANTE LA EVALUACIÓN CONVENCIONAL**

#### **1. Análisis espectral de las parcelas sanas y enfermas en la imagen satelital**

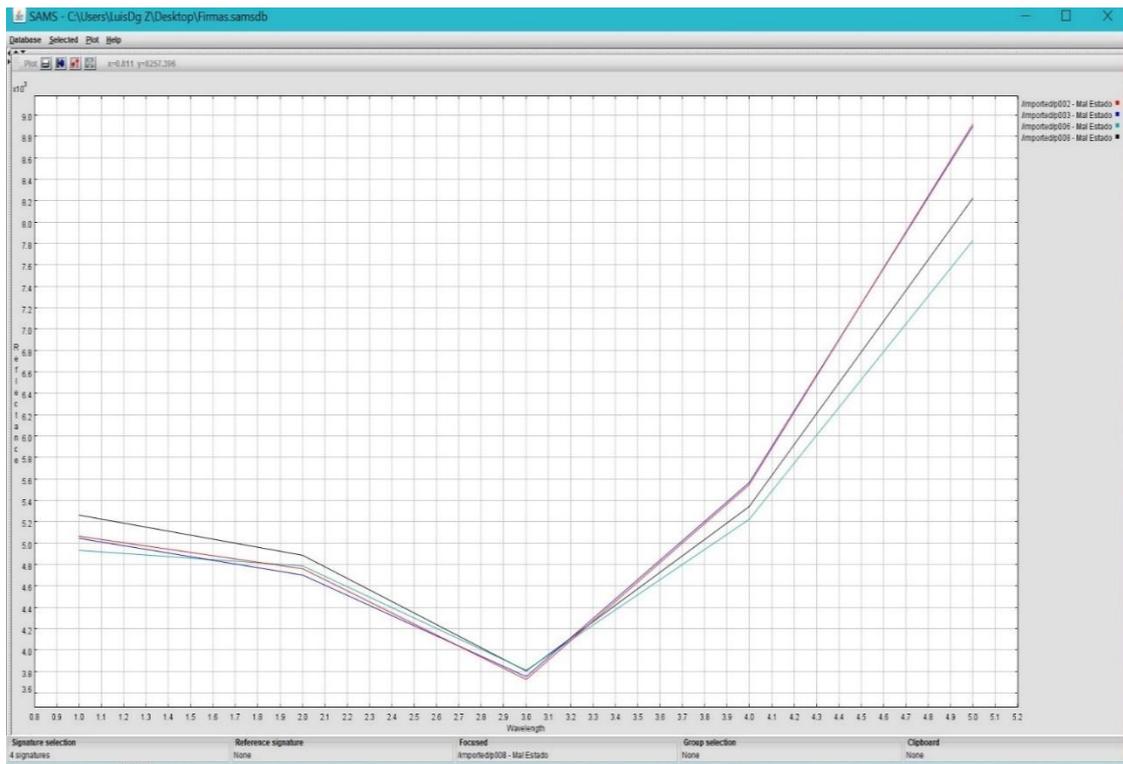
Se obtuvieron las firmas espectrales de cada una de las parcelas que se encuentran en buen estado y mal estado, como podemos observar en el Grafico 20 y 21, las firmas espectrales en las parcelas en mal estado tiene una misma tendencia (forma de la firma

espectral a lo largo de los ejes xy). Este comportamiento se repite para las firmas de las parcelas en buen estado, la diferencia que podemos notar tanto en las firmas de buen y mal estado se da principalmente porque en una plantación siempre habrá variaciones en el tamaño y densidad de la misma lo que buscamos con la comparación gráfica es determinar que la imagen satelital en verdad diferencia a la vegetación que se encuentra sana y enferma.

**Elaborado por:** Novoa. R



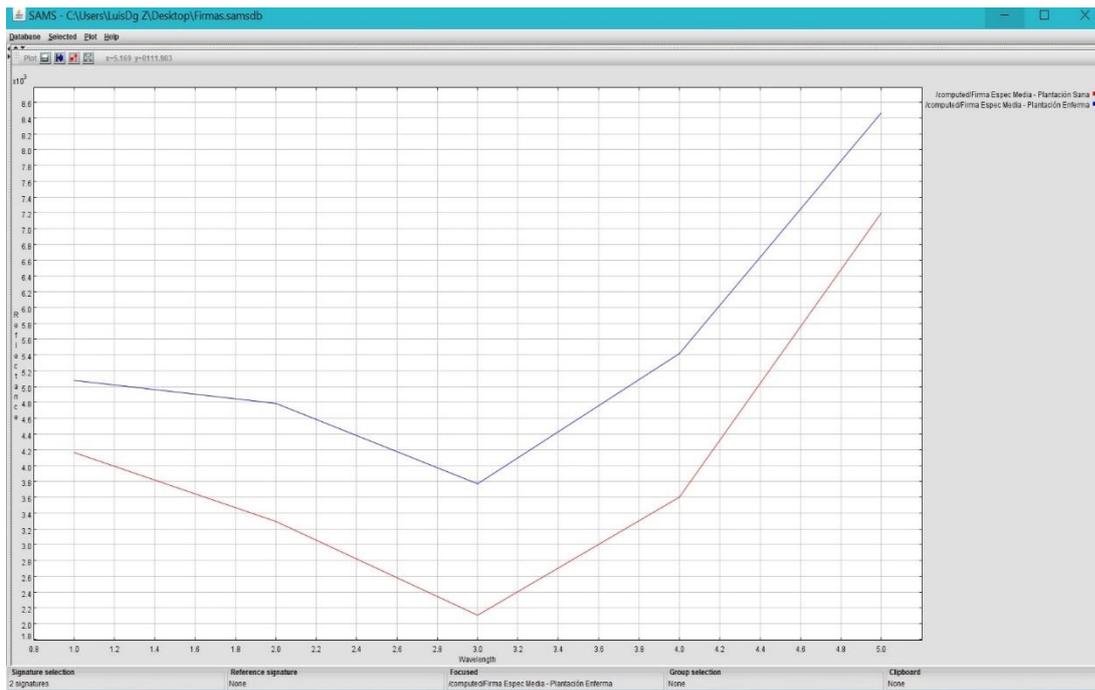
**Gráfico 20.** Firma espectral parcelas en buen estado



Elaborado por: Novoa. R

**Gráfico 21.** Firma espectral parcelas mal estado

Complementariamente se realizó una comparación entre las firmas espectrales medias de las parcelas sanas y enfermas (Gráfico 22), como se puede observar los niveles digitales de la firma espectral de la vegetación sana son inferiores a los de la enferma esto se debe a que al estar la vegetación sana, su estructura y pigmentos absorben más energía para realizar el proceso de la fotosíntesis; al contrario de la vegetación enferma que sus estructuras al verse deterioradas absorben menos energía y por ende la reflejan más, este fenómeno es más notoria en las bandas 1,2,3 cuyos rangos electromagnéticos son absorbidos por la clorofila a y b, los carotenos.



Elaborado por: Novoa. R

**Gráfico 22.** Firma espectral de medias de las parcelas sanas y enfermas

## **2. Verificación de los resultados obtenidos de las imágenes satelitales en campo**

Corroborado que las parcelas sanas y enfermas son semejantes y que mediante una imagen satelital podemos diferenciar entre vegetación sana y enferma y una vez determinado el estado fisiológico de la plantación tanto en el campo como en las imágenes satelitales, se elaboró una tabla (Tabla 41) comparativa que nos permitió validar principalmente los datos obtenidos en la imagen, ya que estos se evaluaron de forma remota, a diferencia de los de campo, donde se hizo una evaluación en-situ, de esta forma pudimos corroborar que los procedimientos aplicados en las imágenes satelitales nos permiten obtener datos reales que pueden ser utilizados de la misma forma que los datos obtenidos en campo, permitiéndonos reducir costos y tiempos al momento de evaluar una plantación.

**Tabla 41.** Comparación de los datos de campo y con la imagen satelital

Comparativa de los datos obtenidos en campo y con la imagen satelital				
Parcela	Imagen ( Valor Medio NDVI)		Campo (Coeficiente de Variación)	
P001	Buen estado	0,53	Buen estado	3%
P004	Buen estado	0,54	Buen estado	8%
PP05	Buen estado	0,53	Buen estado	8%
P007	Buen estado	0,53	Buen estado	7%
P002	Mal estado	0,36	Mal estado	21%
P003	Mal estado	0,33	Mal estado	23%
P006	Mal estado	0,34	Mal estado	22%
P008	Mal estado	0,38	Mal estado	24%

Elaborado por: Novoa. R

Como podemos observar en la Tabla 41, la parcela P001 a partir de la imagen satelital nos indica que se encuentra en buen estado, comparado con los resultados en campo coinciden ya que el coeficiente de variación nos indicó que también posee un buen estado; este mismo patrón se repite para todas las parcelas. Para este estudio se realizó una comparación cuantitativa debido a que los valores numéricos obtenidos no pueden ser comparables de forma estadística, ya que las imágenes satelitales trabajan con valores de 0 a 1 adimensionales mientras que en el coeficiente de variación tenemos valores porcentuales que van de 0 a 100. A pesar de que los procedimientos difieren mucho tanto para la imagen como en el campo, ambas metodologías llegaron a determinar el mismo estado fisiológico para cada una de las parcelas, a medida que la resolución de las imágenes aumenten los resultados obtenidos se ajustaran más a la realidad que se encuentre presente en el campo, los procedimientos descritos para las imágenes nos servirán principalmente para tomar medidas preventivas que nos permitan realizar una evaluación mensual o trimestral de acuerdo con las necesidades de los técnicos que ocupen esta herramienta indicándoles si existe algún foco de infección en la plantación e inmediatamente podrán enviar a técnicos de campo para que haga una evaluación precisa.

## DISCUSIÓN

Los procesos utilizados en el presente trabajo de investigación dista mucho uno de otros ya que al trabajar de forma remota la única referencia que tenemos es la imagen satelital, todo lo contrario a un trabajo netamente de campo donde podemos evaluar de forma directa lo que está sucediendo, podríamos hablar entonces de una forma de simplificar el trabajo de campo, que generalmente se ha venido realizando, en este sentido, la teledetección ha ido mejorando sus técnicas y procesos con el fin de remplazar totalmente lo que es el trabajo de campo (Cabello & Paruelo, 2008), llegar a alcanzar este objetivo es aun complejo sobre todo por la resolución que tenemos de las imágenes satelitales, esto imposibilita el poder diferenciar mejor ciertas áreas y que los estudios se asemejen a la realidad en campo por completo, los resultados obtenidos así lo demuestran, donde la madurez de los métodos de procesado y análisis espacial, la aparición de nuevas técnicas de extracción de la información, y la mejora en la comprensión de cómo y porqué la teledetección puede contribuir a la gestión forestal, nos permite enfatizar su uso potencial para caracterizar, cartografiar y monitorizar zonas forestales (Alvarez, Lorenzo, & Wulder, 2007), todo esto nos ha permitido comprobar que las diferencias cada vez son mínimas, al haber alcanzado un 100 % de coincidencia entre los dos métodos de evaluación, pero con ciertos matices, que hacen que el trabajo de campo sea todavía necesario, ya que en ciertas zonas de la plantación teníamos un distanciamiento considerable entre el arbolado donde se notaba de forma clara el suelo; esto puede modificar los resultados al momento de calcular el NDVI en la imagen satelital, al confundir a una parcela sana con una enferma ya que la cantidad de superficie del suelo termina siendo mayor a la de los árboles, debido a que la radiación que emite estas superficies es similar, según (Gilbert, Gonzáles Piqueras, & García Haro, 1997) nos indica que cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc. reflejará la radiación incidente de forma diferente lo que permitirá distinguirlo de los demás si medimos la radiación reflejada, por ejemplo en el suelo tiene una reflectividad relativamente baja para todas las bandas aunque aumentando hacia el infrarrojo y en la vegetación tiene una reflectividad baja en el visible aunque con un pico en el color verde debido a la clorofila, este fue el principal inconveniente que tuvimos en el estudio por lo que fue necesario distribuir las parcelas de tal forma que podamos abarcar los distintos casos que se podrían presentar en cada plantación, como puede ser una plantación con arbolado denso o ralo que contenga una su vegetación sana o enferma,

para poder identificar las diferencias y poder cerciorarnos de que este problema no afecte en nuestros resultados, fue necesario evaluar y comparar los resultados obtenidos en la imagen como in situ, el evaluar de forma remota y en el campo de por sí ya representa una gran diferencia en los procesos realizados, aún más teniendo en cuenta que para interpretar el estado fisiológico en campo se calculó los metros cúbicos de cada parcela, a más metros cúbicos mejor se encontraba la misma, estos datos fueron corroborados y obtenidos con la metodología e información proporcionada por Aglomerados Cotopaxi S.A. complementariamente se calculó el coeficiente de variación para cada una de las parcelas a partir de su DAP, altura total y altura comercial validando en forma porcentual los datos obtenidos para cada parcela cuyos resultados fueron idénticos a los obtenidos en los primeros cálculos, esto coincide con los antecedentes que menciona (Murillo & Camacho, 2000) quien señala que si el coeficiente de variación es menor al 10 % la parcela se califica en buen estado o aceptables, al contrario si el coeficiente de variación es mayor a 20 % la califica como una parcela en mal estado o no aceptable. Por el contrario, el trabajo con la imagen y la determinación del estado fisiológico como tal se basa en la determinación del estado en que se encuentra la vegetación, principalmente el de sus hojas que es la parte visible en la imagen satelital, el principio es simple, si las hojas se encuentran sanas la clorofila a-b y los carotenos se encontrarán en gran proporción esto se verá reflejado en la cantidad de energía que absorbe la vegetación para el proceso de la fotosíntesis todo lo contrario ocurre cuando se encuentra enferma en donde dichos pigmentos se encuentran deteriorados (Chuvienco, 2008) y en menor cantidad haciendo que la energía absorbida sea menor este comportamiento de la energía es posible captar a partir de los sensores satelitales y se ve plasmado en una imagen satelital específicamente en la banda 5 del infrarrojo cercano y la banda 3 que es el rojo visible que son sensibles a estos cambios en la energía absorbida y reflejada.

Estas diferencias metodológicas que encontramos a la hora de procesar la información hacen que los resultados numéricos obtenidos no se puedan comparar ya que en campo tenemos datos en metros cúbicos, de forma porcentual mientras que en la imagen son datos adimensional de 0 al 1, haciéndose necesario realizar una comparación de sus interpretaciones a partir de las diferentes tablas de interpretación para cada uno de estos valores simplificando el análisis cualitativo, con dos opciones si la parcela está sana o enferma. Los resultados obtenidos fueron positivos, los cálculos en campo coincidieron

con los obtenidos en la imagen satelital, donde pudimos constatar que una mayor o menor densidad de la vegetación no afecta el resultado final, ya que de las cuatro parcelas que resultaron estar enfermas tres poseían una vegetación enferma y densa mientras que la última su vegetación estaba enferma y no era densa, la diferencia entre NDVI fue de  $\pm 0,02$ .

Las posibles confusiones que pueden llegar a darse en la imagen satelital sobre todo cuando la vegetación sea menos densa hace que estos procesos sean aplicables para labores de monitoreo, de esta forma, los técnicos podrán evaluar la plantación de forma remota y de encontrarse valores de NDVI que indiquen que la misma se encuentre enferma estas zonas serían georreferenciadas para que los técnicos puedan dirigirse inmediatamente al foco infeccioso sin tener que recorrer toda la plantación, siendo esta una propuesta viable como la planteada por el proyecto “Desarrollo de una Metodología para la determinación de problemas fitosanitarios forestales, utilizando técnicas de percepción remota satelital y radiometría in situ” propuesto en Chile por el Dr. Rolando Hernández M. (Hernández, 2016), el cual plantea que las características radiométricas de los árboles varían también de acuerdo a su estado sanitario y este aspecto permite establecer si una plantación se encuentra estresada o sana, permitiendo además, determinar el grado de susceptibilidad al ataque de algún agente dañino en función de su estado sanitario, el que puede registrarse a través de sus características radiométricas.

De esta forma, podemos considerar que el uso de las imágenes satelitales y los procesos de teledetección deberían ser parte del conocimiento que un Ingeniero Forestal debería tener y saber asociar con conocimientos básicos de física, matemática y biología.

## **VI. CONCLUSIONES**

- La evaluación de las parcelas en campo nos permitió determinar que la plantación en general posee un estado fisiológico aceptable, ya que las parcelas que calificaron en mal estado no tienen daños considerables de plagas o enfermedades, partiendo que el volumen de madera por parcela esta entre los 7 a 8 m<sup>3</sup> y con manejo silvicultural es de 10 m<sup>3</sup>, existiendo una diferencia manejable.
- Las parcelas evaluadas en campo presentaron diferente calificación de acuerdo con el coeficiente de variación, de las 8 parcelas evaluadas 4 calificaron en buen estado o aceptables ya que su coeficiente de variación es menor al 10 %, y las 4 parcelas restantes calificaron en mal estado o no aceptables ya que su coeficiente de variación esta sobre el 20 %.
- Los valores de NDVI generados nos permitieron determinar que el cálculo de cada píxel da como resultado un número entre -1 a +1. La parcela P001 que se clasificó como en buen estado ya que presentan valores cercanos a 1 (0,53) esto nos indica que los doseles tienen concentraciones apropiadas de clorofila y nitrógeno, por tanto, absorben la luz fotosintéticamente activa, reflejando la luz verde e infrarroja lo que este tipo de patrón es característico de estas parcelas.
- Las firmas espectrales medias de las parcelas sanas y enfermas se compararon, donde los niveles digitales de la firma espectral de la vegetación sana son inferiores a los de la enferma. Esto quiere decir en las zonas sanas, sus pigmentos y estructuras absorben más luz solar para realizar el proceso de la fotosíntesis, al contrario en las zonas de vegetación enferma sus estructuras al estar en estado deficiente absorben menos energía y por ende reflejan más, este fenómeno es más evidente en la banda 1, 2, 3 cuyos rangos electromagnéticos son absorbidos por la clorofila a y b, los carotenos.
- La imagen satelital nos mostró un estado fisiológico idéntico al obtenido en campo en todas las parcelas, pero siempre será necesario equipo técnico de campo que nos permita hacer una evaluación precisa de lo que está ocurriendo de encontrarse alguna anomalía.

- La evaluación del estado fisiológico de la plantación hubo una coincidencia del 100 % entre los dos métodos.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Aplicar este tipo de estudios en bosques nativos y no solamente plantaciones, que nos permitan determinar las diferencias existentes al trabajar con la variedad de especies existentes en el bosque nativo, en relación con la única que especie que conforma una plantación comercial.
- Las metodologías aquí descritas sean implementadas en cátedras como sensores remotos y protección forestal, ya que las mismas podrán generar nuevas ideas, complementando los conocimientos de cada una de estas cátedras.
- Profundizar el uso de las firmas espectrales en el campo forestal, teniendo en cuenta que sus aplicaciones son variadas como la identificación de parcelas forestales afectadas por patógenos, determinación de estrés hídrico entre otras.
- Que la escuela de Ingeniería forestal implemente un laboratorio de teledetección para que los estudiantes puedan hacer estos tipos de evaluación que ayudara el mejor desempeño en el campo profesional.

## **VIII. RESUMEN**

La presente investigación propone: determinación del estado fisiológico de una plantación de *Pinus radiata* D. Don, mediante técnica de teledetección en la comunidad de totoras, Parroquia Achupalla, cantón Alausi, provincia de Chimborazo. Las técnicas para desarrollar este trabajo consistieron en la Teledetección, principalmente imágenes satelital Rapideye, y su integración al SIG. Para las labores de campo se utilizaron GPS, cinta diamétricas, formulario de campo, forcípula, clinómetro. Para la teledetección se utilizó imágenes rapideye con resolución de 5,5 metros, el software ENVI 5.0 y ArcMap 10.3 que ayudaron a realizar mapas de los NDVI de la plantación. En el campo se determinó el estado fisiológico a partir de los metros cúbicos de cada parcela datos fueron comparados con los datos proporcionados por ACOSA que nos indica que una parcela sana de 500m<sup>2</sup> tendrá como mínimo 20m<sup>3</sup> y una enferma 10m<sup>3</sup>, también los resultados fueron comparados con los estudios de Murillo & Camacho, 2000 donde califican la calidad de las parcelas con el coeficiente de variación del DAP, altura comercial y altura total que nos indica que una parcela sana su valor es < al 10% y de una enferma >20%, las mismas parcelas evaluadas en el campo, se analizaron en la imagen satelital a partir del cálculo del NDVI, que nos indica para parcelas sana un valor de 0,53 y enferma 0,35, donde los valores finales fueron los mismos que los resultados obtenidos en campo coincidiendo cada una de las parcelas como sana o enferma respectivamente. Estos procesos son aplicables a otras especies forestales que existan en plantaciones del Ecuador, y pueden ser utilizados en bosques nativos permitiéndonos evaluar su estado y el de los ecosistemas que lo rodean.

**Palabras Claves:** estado fisiológico, teledetección, especies forestales.



## **IX. SUMMARY**

This investigation proposes: determine the physiological state of a *Pinus Radiata* D. Don plantation, through remote sensing techniques in Totoras community, Achupallas parish, Alausi canton, Chimborazo province. The techniques to develop this work consisted of remote sensing, mainly satellite Rapideye, and its integrations to SIG. To the field work it was used GPS measure tapes, field form, forcipula, inclinometer. For the remote sensing was used Rapideye images with 5.5 meters resolution, the software ENVI 5.0 and ArcMap 10.3 with helped to do maps on NDVI of the plantation. In the field was determined the physiological condition from the cubic meters of each parcel, these data were checked with data proportionate by ACOSA that show us that a parcel healthy of 500 m<sup>3</sup> will have 20 m<sup>3</sup> as minimum and a sick 10 m<sup>3</sup>, the results also were compared with the studies of Murillo & Camacho, 200 were rated the parcels quality with the DAP coefficient of variation, commercial and total height show us a healthy parcel value is < 10% and of a sick > 20%. These parcels evaluated in the field, were analyzed in the satellite image starting from the calculation of NDVI, which show us to healthy parcels a value of 0,53 and sick 0,35, where the final results were the same results obtained in field coinciding each parcels like healthy and sick respectively. These results are applicable to other forest species plantations exist in Ecuador, and can be used in native forests allowing us to evaluate their status and the ecosystem surrounding it.

**KEYWORDS:** physiological condition, remote sensing, forest species



## **X. BIBLIOGRAFÍA**

- Alvarez, M., Lorenzo, H., & Wulder, M. (2007). Monitorización estado sanitario de las masas de Eucaliptus globulus en Galicia empleando modelos de procesos, SIG y teledetección. *Boletín Informativo CIDEU* 4, 41-47. Consultado el 02 de Diciembre del 2015, Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/28233583\\_Monitorizacion\\_del\\_estado\\_sanitario\\_de\\_las\\_masas\\_de\\_E\\_globulus\\_en\\_Galicia\\_empleando\\_modelos\\_de\\_proceso\\_SIG\\_y\\_Teledeteccion](https://www.researchgate.net/publication/28233583_Monitorizacion_del_estado_sanitario_de_las_masas_de_E_globulus_en_Galicia_empleando_modelos_de_proceso_SIG_y_Teledeteccion)
- Baruch, Z., & Fisher, M. (1991). *Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de una pastura: Establecimiento y renovación de pastura*. Calí, Colombia: CIAT. Consultado el 04 de Diciembre del 2015, Obtenido de: [https://books.google.com.ec/books?id=\\_pYOAQAIAAJ&pg=PA247&lpg=PA247&dq=Baruch,+Z.,+%26+Fisher,+M.+\(1991\).+Factores+clim%C3%A1ticos+y+de+competencia+que+afectan+el+desarrollo+de+la+planta+en+el+establecimiento+de+una+pastura:+Establecimiento+y+renovaci%C3%B3n+de+pastura.+Cal%C3%AD,+Colombia:+CIAT&source=bl&ots= SXQqwrJjVX&sig=Xpl-vh-CBTRuBKBbBHww5hRMnUU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjN\\_MmMp4rMAhUF9x4KHZKqC-wQ6AEIjAB#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=_pYOAQAIAAJ&pg=PA247&lpg=PA247&dq=Baruch,+Z.,+%26+Fisher,+M.+(1991).+Factores+clim%C3%A1ticos+y+de+competencia+que+afectan+el+desarrollo+de+la+planta+en+el+establecimiento+de+una+pastura:+Establecimiento+y+renovaci%C3%B3n+de+pastura.+Cal%C3%AD,+Colombia:+CIAT&source=bl&ots= SXQqwrJjVX&sig=Xpl-vh-CBTRuBKBbBHww5hRMnUU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjN_MmMp4rMAhUF9x4KHZKqC-wQ6AEIjAB#v=onepage&q&f=false)
- Basso, B., Ritchie, J., Braga, R., & Jones, J. (2001). Validación espacial de los modelos de cultivos para la agricultura de precisión. *Sistema agrícola*, 97-112. Consultado el 08 de Diciembre del 2015, Obtenido de: [file:///C:/Users/hp%201/Downloads/a3\\_Libro13CursoAP2014.pdf](file:///C:/Users/hp%201/Downloads/a3_Libro13CursoAP2014.pdf)
- Bieto, J., Cubillo, M., & Ormaechea, A. (2008). *Fundamentos de fisiología*. España: McGraw-Hill Interamericana de España. Consultado el 14 de Diciembre del 2015, Obtenido de: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetalAzcon.pdf>
- Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2002). Agricultura de precisión y sustentabilidad. Curso de Agricultura de Precisión. *Oncativo, Córdoba. AR*, 6.

Consultado el 01 de Diciembre del 2015, Obtenido de: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=INTA2.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=026578>

- Cabello, J., & Paruelo, J. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Revista Ecosistemas*, 1-3. Consultado el 20 de Diciembre del 2015, Obtenido de: <file:///C:/Users/hp%201/Downloads/77-149-1-SM.pdf>
- Castillo, E., & Castelvi, F. (2001). *Agrometereología*. Madrid: Mundi Prensa. Consultado el 22 de Diciembre del 2015, Obtenido de: [http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-002241\\_D.pdf](http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-002241_D.pdf)
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Tercera Edición ed. España: Ariel S.A. <http://www.casadellibro.com/libro-teledeteccion-ambiental/9788434434981/1800900>
- Cobos-Suárez, J., & Ruiz-Urrestarazu, M. (1990). Problemas fíto-sanitarios de la especie *Pinus radiata* D. Don en España, con especial referencia al País Vasco. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 37-53. Consultado el 24 de Enero del 2016, Obtenido de: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FR\\_DIAROD\\_CobosSu%C3%A1rez\\_RuizUrrestarazu\\_1990.pdf/\\$file/FR\\_DIAROD\\_CobosSu%C3%A1rez\\_RuizUrrestarazu\\_1990.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FR_DIAROD_CobosSu%C3%A1rez_RuizUrrestarazu_1990.pdf/$file/FR_DIAROD_CobosSu%C3%A1rez_RuizUrrestarazu_1990.pdf)
- Díaz-Vaz, J., Fernández, A., Valenzuela, L., & Torres, M. (2007). Madera de compresión en *Pinus Radiata* D. Don: I, características anatómicas. *Maderas, Ciencia y tecnología*, 29-43. Consultado el 08 de Febrero del 2016, Obtenido de: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2007000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2007000100003&script=sci_arttext)
- Galindo, E. (2015). *Estadística Métodos y Aplicaciones*. Quito: ProCiencia Editores.
- Gil Martínez, F. (1995). *Elementos de Fisiología Vegetal: Relaciones Hídricas, Nutrición Mineral, Transporte, Metabolismo*. España: Mundi-Prensa. Consultado el 22 de Marzo del 2016, Obtenido de: <http://www.agapea.com/libros/ELEMENTOS-DE-FISIOLOGIA-VEGETAL-RELACIONES-HIDRICAS-NUTRICION-MINERAL-TRANSPORTE-METABOLISMO-9788471144935-i.htm>

- Gilbert, M., Gonzáles Piqueras, J., & García Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*, 1-10. Consultado el 18 de Marzo del 2016, Obtenido de: [http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8\\_4.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_4.pdf)
- Hernadéz, R. (9 de Abril de 2016). *Desarrollo de una Metodología para la determinación de problemas fitosanitarios forestales, utilizando técnicas de percepción remota satelital y radiometría in situ*. Consultado el 07 de Marzo del 2016. Obtenido de COMISION NACIONAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA : <https://dspace.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/88575/D96I1099.pdf?sequence=1>
- Knapp, A., & Carter, G. (1998). Variability in leaf optical properties among 26 species from a broad range of habitats. *Amer*, 940-946. Consultado el 29 de Marzo del 2016, Obtenido de: <http://rydberg.biology.colostate.edu/knapplab/People/Alan%20Publications/VARIABILITY%20IN%20LEAF%20OPTICAL%20PROPERTIES%20AMONG%2026.pdf>
- Leiva, F. (2009). Agricultura de precisión en cultivos transitorios. *UNAL*, 108. Consultado el 29 de Marzo del 2016, Obtenido de: <http://www.uneditorial.com/agricultura-de-precision-en-cultivos-transitorios-agropecuario.html#.Vw2DJPhDIU>
- Leiva, F., Camacho, T., & Hernán, J. (2009). Tecnología de la agricultura de precisión en el contexto de la sostenibilidad. *Agricultura de precisión en cultivos transitorios, editado por Fabio R. Leiva*, 13-41. Consultado el 12 de Febrero del 2016, Obtenido de: <http://scienti.colciencias.gov.co:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=0000000000506>
- Marin, G., & Ninci, C. (2010). Teledetección en las ciencias de la tierra. *Revista de la Asociación Geológica Argentina Vol. (66)*, 555-556. Consultado el 01 de Diciembre del 2015, Obtenido de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0004-48222010000300013&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0004-48222010000300013&script=sci_arttext&tlng=pt)

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. *Subsecretaría de Patrimonio Natural*. Consultado el 20 de Noviembre del 2015, Obtenido de: [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador;. (2012). Proyecto Evaluación Nacional Forestal-EFN. Consultado el 01 de Diciembre del 2015, Obtenido de: <http://www.ambiente.gob.ec/evaluacion-nacional-forestal-del-ecuador-enf/>
- Montheith, J., & Unsworth, M. (2008). Principles of environmental physics. 3 ed. *Academic Press, Boston, Estados Unidos*, 418. Consultado el 19 de Enero del 2016, Obtenido de: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212011000200016&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212011000200016&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Moreno, P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una Revisión. *Agronomía Colombiana*, 179-191. Consultado el 19 de Enero del 2016, Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v27n2/v27n2a06>
- Murillo, O., & Camacho, P. (2000). Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. *Agronomía Costarricense*, 189-206. Consultado el 05 de Febrero del 2016, Obtenido de: [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v21n02\\_189.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n02_189.pdf)
- Ortega, R., & Flores, L. (1999). *Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico*. . Chillán-Chile: Centro Regional de Investigación Quilamapu. Consultado el 10 de Marzo del 2016, Obtenido de: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR25109.pdf>
- Paz-Pellat, F., Palacios-Vélez, E., Bolaños-González, M., Palacios-Sánchez, L., Martínez-Menes, M., Mejía-Saenz, E., & Huete, A. (2007). Diseño de un índice espectral de la vegetación: NDVIcp. *Agrociencia*, 539-554. Consultado el 21 de Marzo del 2016, Obtenido de: <http://www.redalyc.org/pdf/302/30241506.pdf>
- Rojas Garcidueñas, M. (1993). *Fisiología Vegetal aplicada*. Mexico: Interamericana MacGraw-Hil. Consultado el 15 de Febrero del 2016, Obtenido de: [http://www.usal.edu.ar/archivos/agro/docs/fisiologia\\_vegetal.pdf?template=solapa](http://www.usal.edu.ar/archivos/agro/docs/fisiologia_vegetal.pdf?template=solapa)

- Schlatter , J., Gerding, V., & Oñate, I. (1998). Características y variabilidad de sitios con plantaciones adultas de *Pinus radiata* D. Don en suelos graníticos de las Regiones VIII y IX. *Revistas Electronicas UACH 19(1)*, 37-59. Consultado el 15 de Marzo del 2016, Obtenido de: [http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0717-92001998000100006&script=sci\\_arttext](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0717-92001998000100006&script=sci_arttext)
- Sellers, P. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 1335-1372. Consultado el 06 de Marzo del 2016, Obtenido de: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431168508948283>
- Spitler, P. (1995). Guía técnica para el inventario florístico de Costa Rica. *COSEFORMA*, 20. Consultado el 25 de Noviembre del 2015, Obtenido de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2967>
- Trinder, J., & Shamsoddini, A. (2014). *Teledetección de plantación de pino*. Consultado el 25 de Diciembre del 2015, Obtenido de Sistemas de Información Geográfica (SIG): <http://geomaticaysig.blogspot.com/2014/08/teledeteccion-de-plantacion-de-pino.html>
- Ugaste Corres, R. (1999). Especial IDL ENVI: tratamientos digitales espaciales. *Dialnet*, 34-64. Consultado el 25 de Diciembre del 2015, Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/74671>

## XI. ANEXOS

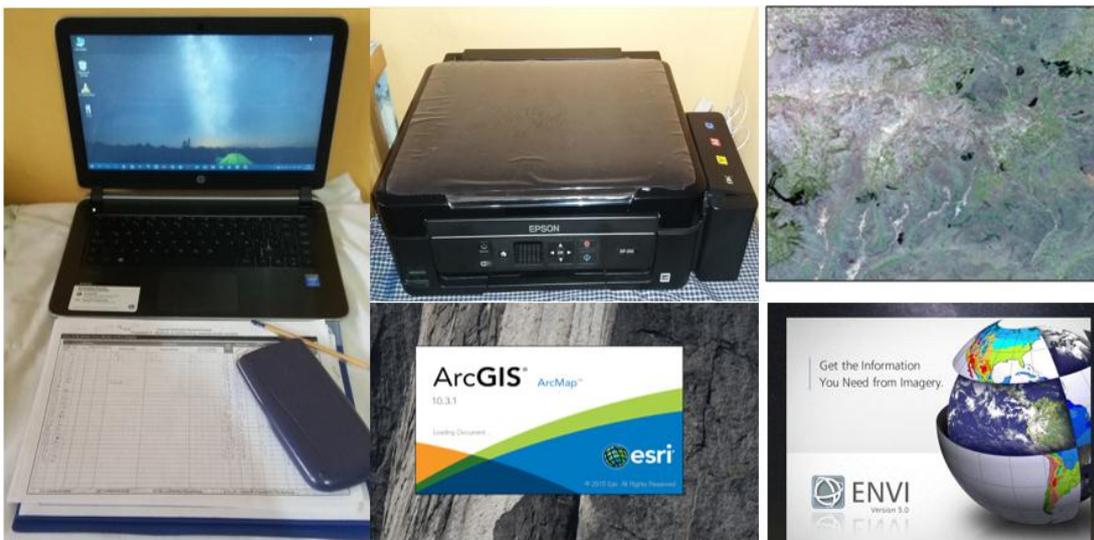
### Anexo 1: Materiales de campo y oficina

**Grafico 1: Materiales de campo**



Elaborado por: Novoa. R

**Grafico 2: Materiales de oficina**



Elaborado por: Novoa. R

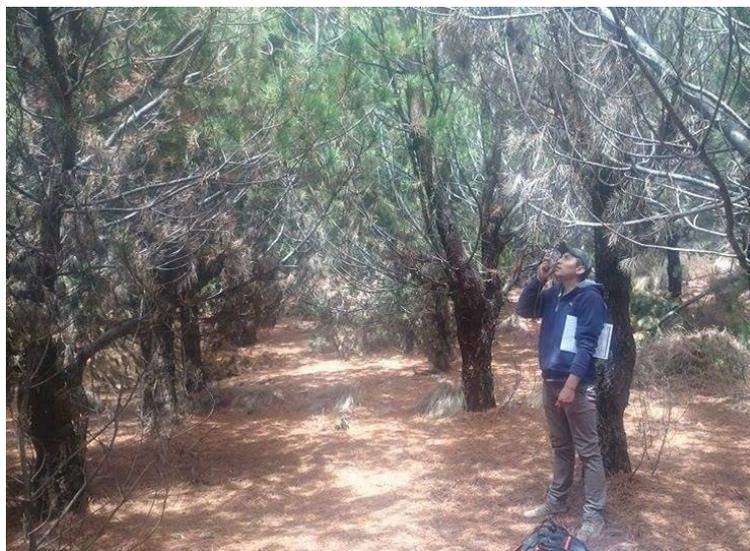
## Anexo 2: Establecimiento de las parcelas y toma de datos

**Grafico 3:** Establecimiento de parcela



**Elaborado por:** Novoa. R

**Grafico 4:** Medición de la altura



**Elaborado por:** Novoa. R

**Grafico 5:** Toma de datos en hoja de campo



**Elaborado por:** Novoa. R

**Grafico 6:** Toma de alturas



**Elaborado por:** Novoa. R

### Anexo 3: Calculo del Coeficiente de variación

**Tabla 1:** Calculo del coeficiente de variación

DATOS DE ARBOLES VIVOS, MUERTOS EN PIE Y TOCONES

PARCELA # 1  
BUENA

UBICACIÓN	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	Volumen (m3)	CONDICIONES DEL ÁRBOL				
		Nombre Común	Nombre Científico						E	F	Co. Fito.	Gco. Fito.	Dominancia
1		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	6,6	4,5	0,33	1	2	1	1	1
2		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,6	4,2	0,31	1	2	1	1	2
3		Pino	<i>Pinus radiata</i>	28	0,280	6,6	5	0,28	1	2	1	1	2
4		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	6,7	4,5	0,33	1	2	1	1	2
5		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6	4,2	0,28	1	2	1	1	2
6		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	6	5	0,32	1	2	1	1	2
7		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	6,4	4,5	0,32	1	2	1	1	2
8		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,6	4,2	0,31	1	2	1	1	2
9		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	7	5	0,35	1	2	1	1	2
10		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	6	5,5	0,30	1	2	1	1	2
11		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,4	4,4	0,30	1	2	1	1	2
12		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	6	4,8	0,32	1	2	1	1	2
13		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	6,8	4,3	0,34	1	2	1	1	2
14		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,6	4	0,31	1	2	1	1	1
15		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,2	5,5	0,29	1	2	1	1	2

16		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	7	5	0,35	1	2	1	1	1
17		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,5	4,5	0,30	1	2	1	1	2
18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	6,2	4,3	0,33	1	2	1	1	1
19		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	6,5	4,3	0,34	1	2	1	1	2
20		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	6,2	4	0,31	1	2	1	1	2
21		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	7,8	5	0,36	1	2	1	1	1
22		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,4	3,5	0,30	1	2	1	1	2
23		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6	5,6	0,28	1	2	1	1	1
24		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	7,7	5,5	0,38	1	2	1	1	1
25		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,3	4,8	0,29	1	2	1	1	1
26		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	6,5	4	0,34	1	2	1	1	2
27		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	8	6	0,42	1	2	1	1	1
28		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,5	4,2	0,30	1	2	1	1	1
29		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	6	4,3	0,30	1	2	1	1	2
30		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	6	5	0,32	1	2	1	1	1
31		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6	5,8	0,28	1	2	1	1	1
32		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6,6	4	0,31	1	2	1	1	2
33		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	7,5	5	0,35	1	2	1	1	1
34		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	7,5	5,8	0,37	1	2	1	1	1
35		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	7	5,2	0,35	1	2	1	1	1
36		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	7	5	0,32	1	2	1	1	2
37		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	6	5	0,32	1	2	1	1	2
38		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	7	5,4	0,37	1	2	1	1	2
39		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6	5,3	0,28	1	2	1	1	2
40		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	6	4,2	0,28	1	2	1	1	1
41		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	7	4,5	0,35	1	2	1	1	1
42		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	8	5,5	0,42	1	2	1	1	1
43		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	7,4	5,5	0,39	1	2	1	1	1

44		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	7,5	5,8	0,35	1	2	1	1	1
45		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29	0,290	8	5,1	0,37	1	2	1	1	1
SUMA				1339	13	301	217	15					
MEDIA				29,7 4	0,30	6,65	4,78	0,32					
S				0,85 7	0,009	0,622	0,610	0,037					
CV %				3%	3%	9%	13%						

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 2:** Calculo del coeficiente de variación

DATOS DE ARBOLES VIVOS,  
MUERTOS EN PIE Y TOCONES

PARCELA # 4  
BUENA

UBICACIÓN	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP (cm)	DAP (cm)	ALTUR A TOTAL	ALTURA COMERCI AL	Volum en (m3)	CONDICIONES DEL ÁRBOL				Dominancia
		Nombre Común	Nombre Científico						E	CF	Co. Fito.	Gco. Fito.	
1		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6,8	4,5	0,48	1	2	1	1	2
2		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	6	4,4	0,40	1	2	1	1	1
3		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	7,4	5,2	0,53	1	2	1	1	2
4		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	7,3	5	0,55	1	2	1	1	1
5		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6,5	4,8	0,46	1	2	1	1	1
6		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	6	4,6	0,45	1	2	1	1	1
7		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	6	4	0,40	1	2	1	1	2
8		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	7,3	5	0,49	1	2	1	1	1

9		Pino	<i>Pinus radiata</i>	26,00	0,260	6	4,5	0,22	1	2	1	1	1
10		Pino	<i>Pinus radiata</i>	27,00	0,270	6	4	0,24	1	2	1	1	2
11		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	7	5,2	0,50	1	2	1	1	2
12		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6,5	2	0,46	1	2	1	1	2
13		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	6,5	4,4	0,49	1	2	1	1	1
14		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	7,7	5	0,58	1	2	1	1	1
15		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6,6	4,5	0,47	1	2	1	1	1
16		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	8	5	0,54	1	2	1	1	1
17		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	7,9	4	0,53	1	2	1	1	2
18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6	4	0,43	1	2	1	1	1
19		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	7	4,6	0,50	1	2	1	1	1
20		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	7	5	0,47	1	2	1	1	2
21		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	6	4	0,45	1	2	1	1	1
22		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	5	4	0,34	1	2	1	1	2
23		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	7	5	0,50	1	2	1	1	2
24		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29,00	0,290	6	4,5	0,28	1	2	1	1	1
25		Pino	<i>Pinus radiata</i>	33,00	0,330	9	6	0,54	1	2	1	1	1
26		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	8	6	0,57	1	2	1	1	1
27		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6,5	4,6	0,46	1	2	1	1	1
28		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	6,8	4,3	0,51	1	2	1	1	2
29		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31,00	0,310	7	6	0,37	1	2	1	1	2
30		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	6	5	0,45	1	2	1	1	1
31		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	8	5	0,60	1	2	1	1	1
SUMA				1083	11	211	144	14					
MEDIA				34,81	0,35	6,75	4,58	0,45					
S				2,85	0,03	0,85	0,75	0,09					

CV %	8%	8%	13%	16%
------	----	----	-----	-----

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 3:** Calculo del coeficiente de variación

DATOS DE ARBOLES VIVOS, MUERTOS EN PIE Y  
TOCONES

PARCELA # 5  
BUENA

UBICACIÓN	Código árbol	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP	DAP (cm)	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	Volum en (m3)	CONDICIONES DEL ÁRBOL				
			Nombre Común	Nombre Científico						E	F	Co. Fito.	Gco. Fito.	Dominancia
	1		Pino	<i>Pinus radiata</i>	43	0,430	7	5	0,71	1	2	1	1	1
	2		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37	0,370	8	6	0,60	1	2	1	1	1
	3		Pino	<i>Pinus radiata</i>	46	0,460	9	5	1,05	1	1	1	1	1
	4		Pino	<i>Pinus radiata</i>	42	0,420	7	4	0,68	1	2	1	1	1
	5		Pino	<i>Pinus radiata</i>	48	0,480	8	5	1,01	1	2	1	1	1
	6	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	36	0,360	8	5	0,57	1	1	1	1	1
	7		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	7	5	0,78	1	1	1	1	1
	8		Pino	<i>Pinus radiata</i>	47	0,470	9	6	1,09	1	2	1	1	1
	9	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	46	0,460	8	5	0,93	1	2	1	1	1
	10		Pino	<i>Pinus radiata</i>	42	0,420	7	5	0,68	1	1	1	1	1
	11		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37	0,370	7	4	0,53	1	1	1	1	1
	12		Pino	<i>Pinus radiata</i>	44	0,440	8	5	0,85	1	1	1	1	1
	13	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	42	0,420	8	6	0,78	1	2	1	1	1

14	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	37	0,370	7	5	0,53	1	2	1	1	1
15		Pino	<i>Pinus radiata</i>	43	0,430	7	5	0,71	1	1	1	1	1
16		Pino	<i>Pinus radiata</i>	43	0,430	8	5	0,81	1	1	1	1	1
17		Pino	<i>Pinus radiata</i>	48	0,480	9	6	1,14	1	1	1	1	1
18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	40	0,400	6	4	0,53	1	2	1	1	1
19		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	7	5	0,78	1	1	1	1	1
20		Pino	<i>Pinus radiata</i>	40	0,400	6	5	0,53	1	2	1	1	1
21		Pino	<i>Pinus radiata</i>	42	0,420	7	5	0,68	1	2	1	1	1
22		Pino	<i>Pinus radiata</i>	41	0,410	8	6	0,74	1	2	1	1	1
23		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	7	6	0,78	1	2	1	1	1
SUMA				979	10	173	118	17					
MEDIA				42,4									
S				2	0,42	7,48	5,09	0,74					
S				3,54	0,04	0,85	0,63	0,18					
CV %				8%	8%	11%	12%						

**Elaborado por:** Novoa. R

**Tabla 4:** Calculo del coeficiente de variaciónDATOS DE ARBOLES VIVOS, MUERTOS EN PIE  
Y TOCONESPARCELA # 7  
BUENA

UBICACIÓN	Código árbol	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP (cm)	DAP (cm)	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	Volumen (m3)	CONDICIONES DEL ÁRBOL				
			Nombre Común	Nombre Científico						E	C F	Co. Fito.	Gco. Fito.	Dominancia
	1		Pino	<i>Pinus radiata</i>	50	0,500	7	5	0,96	1	2	1	1	1
	2		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	6	5,5	0,67	1	2	1	1	1
	3	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	47	0,470	7	6	0,85	1	2	1	1	1
	4	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	48	0,480	7	5,6	0,89	1	2	1	1	1
	5	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	47	0,470	8	6	0,97	1	2	1	1	2
	6	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	46	0,460	6	4,8	0,70	1	2	1	1	1
	7		Pino	<i>Pinus radiata</i>	42	0,420	6	5	0,58	1	2	1	1	1
	8		Pino	<i>Pinus radiata</i>	38	0,380	7	5	0,56	1	2	1	1	1
	9	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	43	0,430	8	6	0,81	1	2	1	1	1
	10	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	8	6	0,89	1	2	1	1	2
	11		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	6	5	0,67	1	2	1	1	1
	12		Pino	<i>Pinus radiata</i>	47	0,470	8	5,7	0,97	1	2	1	1	2
	13	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	50	0,500	7	5	0,96	1	2	1	1	1
	14		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	6	4,8	0,67	1	2	1	1	2
	15		Pino	<i>Pinus radiata</i>	47	0,470	6	4,5	0,73	1	2	1	1	2
	16		Pino	<i>Pinus radiata</i>	39	0,390	8	6,8	0,67	1	2	1	1	2
	17		Pino	<i>Pinus radiata</i>	40	0,400	6	5	0,53	1	2	1	1	1
	18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	46	0,460	7	5	0,81	1	2	1	1	1
	19	x	Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	7	6	0,78	1	2	1	1	1

20		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	6	5	0,67	1	2	1	1	1
21		Pino	<i>Pinus radiata</i>	44	0,440	7	5	0,75	1	2	1	1	1
22		Pino	<i>Pinus radiata</i>	40	0,400	6	4	0,53	1	2	1	1	1
SUMA				984	10	150	117	17					
MEDIA				44,6									
S				1	0,45	6,77	5,27	0,74					
CV %				3,27	0,03	0,80	0,64	0,15					
CV %				7%	7%	12%	12%						

Elaborado por: Novoa.

**Tabla 5:** Calculo del coeficiente de variación

DATOS DE ARBOLES VIVOS, MUERTOS EN PIE Y TOCONES

PARCELA # 2  
DAÑADA

3,14159  
265

UBICACIÓN	Código árbol	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	Volumen (m <sup>3</sup> )	CONDICIONES DEL ÁRBOL					Vejes del Árbol
			Nombre Común	Nombre Científico						E	C F	Co. Fito.	Gco. Fito.	Dominancia	
1			Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	5	2,7	0,34	1	2	1	2	2	1
2			Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	6	2,5	0,16	1	2	1	1	1	1
3			Pino	<i>Pinus radiata</i>	23,00	0,230	5	2,5	0,15	1	2	1	2	2	1
4			Pino	<i>Pinus radiata</i>	24,00	0,240	1,7	0,5	0,054	2	4	6	3	3	2
5			Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	5	2,1	0,13	1	2	1	2	1	1
6			Pino	<i>Pinus radiata</i>	30,00	0,300	5	0,5	0,25	2	4	6	3	3	2
7			Pino	<i>Pinus radiata</i>	28,00	0,280	2,2	0,1	0,09	2	4	6	3	3	2
8		X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	29,00	0,290	5	1,8	0,23	1	2	1	2	2	1

9		Pino	<i>Pinus radiata</i>	24,00	0,240	8	3,2	0,25	1	2	1	2	1	1
10		Pino	<i>Pinus radiata</i>	23,00	0,230	1,5	0,3	0,04	2	4	8	3	3	2
11		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	7	2,5	0,50	1	2	1	1	1	1
12		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	5,8	2,5	0,44	1	2	1	1	1	1
13		Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	6	2,4	0,16	1	2	1	1	2	1
14	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	5	2,1	0,36	1	2	1	2	2	1
15		Pino	<i>Pinus radiata</i>	29,00	0,290	4,5	2,5	0,21	1	2	1	1	2	1
16		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30,00	0,300	6	2,1	0,30	1	2	1	1	2	1
17		Pino	<i>Pinus radiata</i>	38,00	0,380	5	2,4	0,40	1	2	1	2	1	1
18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	23,00	0,230	4	2	0,12	1	2	1	2	3	1
19		Pino	<i>Pinus radiata</i>	31,00	0,310	5	2,4	0,26	1	2	1	1	1	1
20		Pino	<i>Pinus radiata</i>	38,00	0,380	5	2,1	0,40	1	2	1	1	2	1
21		Pino	<i>Pinus radiata</i>	23,00	0,230	6	2,1	0,17	1	2	1	1	1	1
22		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30,00	0,300	6	2,4	0,30	1	2	1	1	1	1
23		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	5	2,5	0,36	1	2	1	1	1	1
24	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	24,00	0,240	5,5	2,1	0,17	1	2	1	1	2	1
25	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	39,00	0,390	5	2	0,42	1	2	1	1	1	1
26	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	5	2,2	0,36	1	2	1	1	2	1
27	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	5	2	0,36	1	2	1	2	2	1
SUMA				804	8	135	55	7						
MEDIA				29,17	0,29	4,73	1,69	0,22						
S				6,09	0,06	1,40	0,76	0,13						
CV %				21%	21%	30%	45%							

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 6:** Calculo del coeficiente de variaciónDATOS DE ARBOLES VIVOS, MUERTOS EN PIE Y  
TOCONESPARCELA # 3  
DAÑADA3,141592  
65

UBICACIÓN	Código árbol	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	Volumen en (m3)	CONDICIONES DEL ÁRBOL				
			Nombre Común	Nombre Científico						E	C F	Co. Fito.	Gco. Fito.	Dominancia
1			Pino	<i>Pinus radiata</i>	38,00	0,380	2	1	0,159	2	3	6	3	3
2			Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	4	2	0,301	2	3	6	3	3
3			Pino	<i>Pinus radiata</i>	30,00	0,300	3	1	0,148	1	2	1	2	2
4			Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	6	4	0,160	1	2	1	1	2
5			Pino	<i>Pinus radiata</i>	32,00	0,320	2	1	0,113	2	3	6	3	3
6			Pino	<i>Pinus radiata</i>	38,00	0,380	5	2,1	0,397	1	2	1	1	2
7			Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	5,5	2,4	0,146	1	2	1	1	2
8			Pino	<i>Pinus radiata</i>	38,00	0,380	5	3	0,397	1	2	1	1	2
9			Pino	<i>Pinus radiata</i>	35,00	0,350	5,2	2,7	0,350	1	2	1	1	2
10		X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	6	3,1	0,160	1	2	1	1	2
11		X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6,2	3,3	0,442	1	2	1	1	2
12		X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	30,00	0,300	3,2	2	0,158	2	3	6	3	3
13		X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	6	2,2	0,160	1	2	1	1	2
14			Pino	<i>Pinus radiata</i>	31,00	0,310	5	2,2	0,264	1	2	1	1	2
15		X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	30,00	0,300	6,9	2,5	0,341	1	2	1	1	1
16			Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	4	2	0,106	1	2	1	2	2
17			Pino	<i>Pinus radiata</i>	27,00	0,270	5	2,2	0,200	1	2	1	2	2

18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	32,00	0,320	4	2	0,225	1	2	1	2	2
19		Pino	<i>Pinus radiata</i>	27,00	0,270	6	2,5	0,240	1	2	1	1	1
20		Pino	<i>Pinus radiata</i>	21,00	0,210	4	2	0,097	1	2	1	2	2
21		Pino	<i>Pinus radiata</i>	21,00	0,210	4	2	0,097	2	3	6	3	3
22		Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	2	1	0,053	2	3	6	3	3
23		Pino	<i>Pinus radiata</i>	37,00	0,370	3	2	0,226	2	3	6	3	3
24		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6	2,2	0,428	1	2	1	2	2
25	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	22,00	0,220	6,5	2,7	0,173	1	2	1	1	1
26		Pino	<i>Pinus radiata</i>	38,00	0,380	6,8	2,3	0,540	1	2	1	2	1
27		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30,00	0,300	3	2	0,148	2	3	6	3	3
28		Pino	<i>Pinus radiata</i>	21,00	0,210	6	3	0,145	1	2	1	2	2
29	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	38,00	0,380	5	3	0,397	1	2	1	2	2
30		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6,5	2,2	0,463	1	2	1	1	1
31	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	36,00	0,360	6	2,3	0,428	1	2	1	2	1
SUMA				929	9	149	70	8					
MEDIA				29,23	0,29	4,53	2,14	0,21					
S				6,60	0,07	1,48	0,68	0,13					
CV %				23%	23%	33%	32%						

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 7:** Calculo del coeficiente de variación

DATOS DE ARBOLES VIVOS, MUERTOS EN PIE Y  
TOCONES

PARCELA # 8  
DAÑADA

UBICACIÓN	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	Volumen en (m <sup>3</sup> )	CONDICIONES DEL ÁRBOL				
		Nombre Común	Nombre Científico						E	F	Co. Fito.	Gco. Fito.	Dominancia
1		Pino	<i>Pinus radiata</i>	45	0,450	6	0,4	0,668	2	3	6	3	3
2		Pino	<i>Pinus radiata</i>	23	0,230	5	0,3	0,145	2	3	6	3	3
3		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36	0,360	5	1	0,356	2	3	6	3	3
4	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	38	0,380	4	1,1	0,318	2	3	6	3	3
5		Pino	<i>Pinus radiata</i>	44	0,440	7	0,2	0,745	2	3	6	3	3
6		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35	0,350	5,5	1,5	0,370	2	3	6	3	3
7		Pino	<i>Pinus radiata</i>	35	0,350	4,2	2	0,283	2	3	2	3	3
8		Pino	<i>Pinus radiata</i>	12	0,120	4	1,5	0,032	1	3	6	3	3
9		Pino	<i>Pinus radiata</i>	46	0,460	7	1	0,814	1	3	6	3	3
10		Pino	<i>Pinus radiata</i>	33	0,330	4,8	1,8	0,287	1	3	6	2	3
11		Pino	<i>Pinus radiata</i>	34	0,340	3,2	1	0,203	2	3	6	3	3
12		Pino	<i>Pinus radiata</i>	33	0,330	6,3	2,1	0,377	1	3	6	2	3
13	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	28	0,280	5	1,4	0,216	2	3	6	2	3
14	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	36	0,360	5,2	2	0,371	1	2	6	2	3
15		Pino	<i>Pinus radiata</i>	38	0,380	3	0,4	0,238	2	3	6	3	3
16		Pino	<i>Pinus radiata</i>	36	0,360	5	1,5	0,356	1	2	6	2	3
17		Pino	<i>Pinus radiata</i>	38	0,380	6,1	1,8	0,484	2	3	6	3	3
18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	32	0,320	6,3	2,1	0,355	2	3	6	3	3
SUMA				622	6	93	23	7					

MEDIA	33,36	0,33	5,01	1,06	0,31
S	7,93	0,08	1,17	0,64	0,20
CV %	24%	24%	23%	61%	

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 8:** Calculo del coeficiente de variación

DATOS DE ARBOLES VIVOS, MUERTOS EN PIE Y  
TOCONES

PARCELA # 6  
DAÑADA

UBICACIÓN	Código árbol	Bifur. > 2	IDENTIFICACIÓN		DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA TOTAL	ALTURA COMERCIAL	Volumen (m <sup>3</sup> )	CONDICIONES DEL ÁRBOL				
			Nombre Común	Nombre Científico						E	C	Co. Fito.	Gco. Fito.	Dominancia
	1		Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	4	0,4	0,198	2	3	6	3	3
	2	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	39	0,390	5	2,1	0,418	1	3	6	3	3
	3	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	30	0,300	5,4	1,5	0,267	1	3	6	2	2
	4		Pino	<i>Pinus radiata</i>	34	0,340	5,2	2	0,330	1	3	6	2	3
	5		Pino	<i>Pinus radiata</i>	32	0,320	5,5	1,5	0,310	1	3	6	3	2
	6		Pino	<i>Pinus radiata</i>	33	0,330	5	2,5	0,299	1	3	6	3	2
	7		Pino	<i>Pinus radiata</i>	39	0,390	3	1	0,251	2	3	6	3	3
	8		Pino	<i>Pinus radiata</i>	39	0,390	3,4	1	0,284	1	3	6	2	2
	9	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	33	0,330	4	1,2	0,239	1	3	6	2	2
	10		Pino	<i>Pinus radiata</i>	32	0,320	6,2	2,3	0,349	1	3	6	2	2
	11	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	4	1,5	0,211	2	3	6	3	2
	12		Pino	<i>Pinus radiata</i>	34	0,340	6	2	0,381	1	3	6	2	2

13		Pino	<i>Pinus radiata</i>	32	0,320	5,8	3	0,327	1	2	6	2	1
14		Pino	<i>Pinus radiata</i>	33	0,330	5,2	1	0,311	1	2	6	2	3
15		Pino	<i>Pinus radiata</i>	33	0,330	4	2	0,239	2	3	10	3	3
16		Pino	<i>Pinus radiata</i>	32	0,320	4,9	2,1	0,276	1	2	6	2	3
17	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	34	0,340	5	1,3	0,318	1	2	6	2	2
18		Pino	<i>Pinus radiata</i>	12	0,120	5	1,8	0,040	1	2	6	2	2
19		Pino	<i>Pinus radiata</i>	38	0,380	6	1	0,476	1	2	6	2	2
20		Pino	<i>Pinus radiata</i>	39	0,390	3	2	0,251	1	3	6	3	2
21	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	39	0,390	5,3	2,4	0,443	1	3	6	3	2
22		Pino	<i>Pinus radiata</i>	40	0,400	6,2	2	0,545	1	2	6	2	2
23		Pino	<i>Pinus radiata</i>	32	0,320	4	1,4	0,225	2	3	6	3	3
24	X	Pino	<i>Pinus radiata</i>	31	0,310	4,5	2,1	0,238	1	2	6	2	2
25		Pino	<i>Pinus radiata</i>	25	0,250	4	2	0,137	1	2	6	2	2
26		Pino	<i>Pinus radiata</i>	13	0,130	3	1,2	0,028	2	3	6	3	3
SUMA				839	8	123	44	7					
MEDIA				31,23	0,31	4,61	1,58	0,23					
S				6,87	0,07	1,00	0,59	0,12					
CV %				22%	22%	22%	37%						

Elaborado por: Novoa. R

**Anexo 4: Puntos del área de la plantación de *Pinus radiata* D. Don**

**Tabla 9:** Puntos del área de plantación

**PUNTOS ÁREA DE LA POTACIÓN**

PUNTO	X	Y	PUNTO	X	Y
1	753707	9753839	76	754471	9754696
2	753733	9753832	77	754502	9754680
3	753759	9753826	78	754489	9754647
4	753785	9753824	79	754478	9754619
5	753814	9753822	80	754466	9754588
6	753841	9753820	81	754453	9754556
7	753871	9753818	82	754437	9754516
8	753903	9753805	83	754423	9754482
9	753913	9753825	84	754410	9754450
10	753923	9753843	85	754398	9754420
11	753934	9753864	86	754386	9754389
12	753947	9753882	87	754374	9754356
13	753959	9753898	88	754364	9754327
14	753975	9753919	89	754353	9754296
15	753981	9753938	90	754339	9754267
16	753989	9753962	91	754325	9754239
17	753998	9753989	92	754310	9754209
18	754011	9754001	93	754292	9754175
19	754028	9754016	94	754278	9754149
20	754039	9754026	95	754259	9754114
21	754050	9754045	96	754245	9754095
22	754057	9754058	97	754229	9754073
23	754071	9754072	98	754211	9754050
24	754087	9754087	99	754195	9754035
25	754103	9754102	100	754175	9754016
26	754115	9754122	101	754157	9753999
27	754129	9754147	102	754143	9753985
28	754143	9754171	103	754131	9753962
29	754156	9754193	104	754122	9753942
30	754169	9754215	105	754114	9753925
31	754182	9754240	106	754107	9753910
32	754196	9754265	107	754093	9753893
33	754207	9754285	108	754074	9753870
34	754216	9754302	109	754053	9753859
35	754222	9754325	110	754038	9753850
36	754227	9754347	111	754024	9753829

37	754233	9754367	112	754012	9753811
38	754240	9754389	113	753997	9753793
39	754258	9754410	114	753969	9753759
40	754256	9754428	115	753958	9753736
41	754264	9754447	116	753944	9753709
42	754271	9754466	117	753929	9753679
43	754283	9754494	118	753923	9753652
44	754250	9754504	119	753916	9753624
45	754222	9754511	120	753910	9753595
46	754198	9754518	121	753897	9753569
47	754174	9754486	122	753884	9753543
48	754137	9754509	123	753866	9753504
49	754152	9754536	124	753857	9753475
50	754166	9754562	125	753846	9753441
51	754198	9754555	126	753831	9753416
52	754209	9754568	127	753817	9753394
53	754237	9754557	128	753787	9753388
54	754263	9754547	129	753765	9753367
55	754268	9754555	130	753747	9753351
56	754255	9754564	131	753710	9753349
57	754256	9754592	132	753695	9753368
58	754226	9754582	133	753678	9753390
59	754216	9754595	134	753679	9753416
60	754203	9754612	135	753680	9753442
61	754181	9754626	136	753675	9753468
62	754173	9754658	137	753671	9753483
63	754193	9754660	138	753676	9753512
64	754211	9754662	139	753681	9753538
65	754224	9754674	140	753685	9753561
66	754238	9754689	141	753669	9753591
67	754252	9754704	142	753667	9753624
68	754275	9754706	143	753666	9753649
69	754308	9754708	144	753665	9753683
70	754328	9754699	145	753681	9753705
71	754364	9754684	146	753685	9753736
72	754381	9754692	147	753695	9753754
73	754406	9754704	148	753703	9753770
74	754431	9754716	149	753705	9753795
75	754450	9754706	150	753706	9753815

**Elaborado por:** Novoa. R

**Anexo 5: Análisis de los pixeles de las parcelas con la estadística descriptiva**

**Tabla 10: NDVI pixeles**

<b>NDVI PIXILES PARCELA P001 BUEN ESTADO</b>	
Nº Pixeles	Valor del NDVI por pixel
1	0,528
2	0,536
3	0,527
4	0,525
5	0,517
6	0,529
7	0,524
8	0,528
9	0,523
10	0,533
11	0,518
12	0,534
13	0,527
14	0,532
15	0,527
16	0,529
17	0,526
18	0,539
19	0,528
20	0,529
21	0,527
22	0,529
23	0,523

<i>P001 BUEN ESTADO</i>	
Media	0,52773913
Mediana	0,528
Moda	0,527
Desviación estándar	0,005083104
Varianza de la muestra	2,58379E-05
Mínimo	0,517
Máximo	0,539
Suma	12,138
Cuenta	23
Cv	0,963184943

**Elaborado por:** Novoa. R

**Tabla 11:** NDVI pixeles

<b>NDVI PIXILES PARCELA P004 BUEN ESTADO</b>	
Nº Pixel	Valor del NDVI por pixel
1	0,541
2	0,530
3	0,535
4	0,543
5	0,529
6	0,531
7	0,542
8	0,536
9	0,532
10	0,534
11	0,538
12	0,544
13	0,546
14	0,536
15	0,532
16	0,526
17	0,531
18	0,539
19	0,532
20	0,531
21	0,53
22	0,534
23	0,535

Elaborado por: Novoa. R

<i>P004 BUEN ESTADO</i>	
Media	0,535086957
Mediana	0,534
Moda	0,531
Desviación estándar	0,005316467
Varianza de la muestra	2,82648E-05
Mínimo	0,526
Máximo	0,546
Suma	12,307
Cuenta	23
Cv	0,993570673

**Tabla 12:** NDVI pixeles

<b>NDVI PIXILES PARCELA P005 BUEN ESTADO</b>	
Nº Pixel	Valor del NDVI por pixel
1	0,528
2	0,520
3	0,521
4	0,524
5	0,525
6	0,518
7	0,523
8	0,529
9	0,533

<i>P005 BUEN ESTADO</i>	
Media	0,525478261
Mediana	0,526
Moda	0,523
Desviación estándar	0,005007899
Varianza de la muestra	2,50791E-05
Mínimo	0,512
Máximo	0,533
Suma	12,086
Cuenta	23
Cv	0,953017331

10	0,527
11	0,531
12	0,523
13	0,533
14	0,523
15	0,526
16	0,529
17	0,526
18	0,527
19	0,512
20	0,53
21	0,531
22	0,522
23	0,525

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 13:** NDVI pixeles

<b>NDVI PIXILES PARCELA P007 BUEN ESTADO</b>	
Nº Pixel	Valor del NDVI por pixel
1	0,570
2	0,578
3	0,581
4	0,578
5	0,573
6	0,565
7	0,581
8	0,580
9	0,570
10	0,565
11	0,576
12	0,579
13	0,575
14	0,572
15	0,575
16	0,577
17	0,580
18	0,561
19	0,567
20	0,573
21	0,573
22	0,574
23	0,577

Elaborado por: Novoa. R

<i>P007 BUEN ESTADO</i>	
Media	0,573913043
Mediana	0,575
Moda	0,573
Desviación estándar	0,005517847
Varianza de la muestra	3,04466E-05
Mínimo	0,561
Máximo	0,581
Suma	13,2
Cuenta	23
Cv	0,961443114

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 14:** NDVI pixeles

<b>NDVI PIXILES PARCELA P002 MAL ESTADO</b>	
Nº Pixel	Valor del NDVI por pixel
1	0,365
2	0,358
3	0,362
4	0,360
5	0,364
6	0,361
7	0,355
8	0,360
9	0,359
10	0,361
11	0,360
12	0,365
13	0,357
14	0,355
15	0,365
16	0,363
17	0,356
18	0,364
19	0,367
20	0,362
21	0,363
22	0,366
23	0,365

<i>P00 2 MAL ESTADO</i>	
Media	0,361434783
Mediana	0,362
Moda	0,365
Desviación estándar	0,003552542
Varianza de la muestra	1,26206E-05
Mínimo	0,355
Máximo	0,367
Suma	8,313
Cuenta	23
Cv	0,982899817

**Elaborado por:** Novoa. R

**Tabla 15:** NDVI pixeles

<b>NDVI PIXILES PARCELA P003 MAL ESTADO</b>	
Nº Pixel	Valor del NDVI por pixel
1	0,333
2	0,339
3	0,329
4	0,336
5	0,330
6	0,339
7	0,328
8	0,335
9	0,332
10	0,335
11	0,337
12	0,330
13	0,334
14	0,332
15	0,338
16	0,331
17	0,333
18	0,335
19	0,337
20	0,334
21	0,338
22	0,331
23	0,336

<i>P003 MAL ESTADO</i>	
Media	0,334
Mediana	0,334
Moda	0,335
Desviación estándar	0,003247377
Varianza de la muestra	1,05455E-05
Mínimo	0,328
Máximo	0,339
Suma	7,682
Cuenta	23
Cv	0,972268432

Elaborado por: Novoa. R

**Tabla 16:** NDVI pixeles

NDVI PIXILES PARCELA P008 MAL ESTADO	
Nº Pixel	Valor del NDVI por pixel
1	0,384
2	0,386
3	0,385
4	0,381
5	0,389
6	0,387
7	0,386
8	0,382
9	0,385
10	0,386
11	0,381
12	0,387
13	0,388
14	0,386
15	0,382
16	0,383
17	0,388
18	0,383
19	0,384
20	0,378
21	0,384
22	0,381
23	0,379

P008 MAL ESTADO	
Media	0,384130435
Mediana	0,384
Moda	0,386
Desviación estándar	0,002943473
Varianza de la muestra	8,66403E-06
Mínimo	0,378
Máximo	0,389
Suma	8,835
Cuenta	23
Cv	0,766269071

**Elaborado por:** Novoa. R

**Tabla 17:** NDVI pixeles

NDVI PIXILES PARCELA P006 MAL ESTADO	
Nº Pixel	Valor del NDVI por pixel
1	0,349
2	0,343
3	0,341
4	0,348
5	0,345
6	0,346
7	0,342
8	0,346
9	0,345
10	0,343
11	0,344
12	0,348
13	0,337
14	0,345
15	0,340
16	0,346
17	0,344
18	0,341
19	0,345
20	0,348
21	0,342
22	0,347
23	0,343

P006 MAL ESTADO	
Media	0,34426087
Mediana	0,345
Moda	0,345
Desviación estándar	0,00294213
Varianza de la muestra	8,65613E-06
Mínimo	0,337
Máximo	0,349
Suma	7,918
Cuenta	23
Cv	0,854622132

Elaborado por: Novoa. R