

# DETECCIÓN DE NIVELES DE VIGOROSIDAD EN PLANTACIONES DE *Tectona grandis* L. F. (TECA) MEDIANTE ÍNDICES DE VEGETACIÓN



Henry Alexis Plaza Duarte  
Carlos Eulogio Belezaca Pinargote

## **DETECCION DE NIVELES DE VIGOROSIDAD EN PLANTACIONES DE *Tectona Grandis* L. F. (TECA) MEDIANTE ÍNDICES DE VEGETACIÓN**

**Publicado por:** Universidad Técnica Estatal de Quevedo.  
Dir. Av. Quito km 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas,  
Quevedo, Ecuador. [www.uteq.edu.ec](http://www.uteq.edu.ec).

**Derechos reservados:** © Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador 2022.  
Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICYT).  
Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros que no sean comerciales sin permiso escrito previo detentar el derecho de autor, mencionando la cita.

**Cita del libro:** Plaza H. y Belezaca C. 2022. Detección de Niveles de vigorosidad en plantaciones de *Tectona grandis* L. F. (Teca) mediante índices de vegetación. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 69 pp.

**Revisión de Pares Externos:** Gabriel Carvajal Benavides  
Magister en Educación y Desarrollo Social  
Universidad Técnica del Norte  
Pablo Lozano Carpio  
Doctor En Ciencias Naturales  
Universidad Estatal Amazónica

**Diseño y Diagramación:** Ing. J. Bladimir Mora Macías  
Diseñador Gráfico y Multimedia.

**Primera Edición:** Quevedo, Septiembre del 2022.

**ISBN:** 978-9978-371-42-8



## ► PRESENTACIÓN:

---

El Comité Editorial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) es la unidad encargada de promover, gestionar y administrar el conocimiento resultante de las actividades de investigación científica, la docencia y la vinculación de docentes y estudiantes. Dentro del procedimiento para el reconocimiento al profesorado y estudiantado de la UTEQ se contempla la publicación como libros de Tesis de grado y posgrado que se distingan por su innovación, metodología, rigor técnico o impacto social.

La tesis presentada en opción al grado de Magister en Manejo Forestal Sostenible del Ing. Henry Alexis Plaza Duarte, obtenido en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, atiende a la normativa existente para ser publicado como libro y por ello el Comité Editorial de la UTEQ aprueba la visibilidad y acceso a la comunidad académica, científica y sociedad en general.



**DETECCIÓN DE NIVELES DE VIGOROSIDAD EN PLANTACIONES DE  
*Tectona grandis* L. F. (TECA) MEDIANTE ÍNDICES DE VEGETACIÓN**

---

**AUTORES:**

Henry Alexis Plaza Duarte  
Carlos Eulogio Belezaca Pinargote



## PRÓLOGO

Cada vez está más extendido el uso de las tecnologías digitales en el sector forestal, lo que garantiza una elevación en la eficiencia en la obtención de resultados, la obtención de información confiable y a menores costos. La previsión de los riesgos que se detectan por esta vía son de suma importancia, pues garantizan que se propongan medidas que, con la previsión suficiente, llegan a eliminar o a mitigar las causas de los potenciales impactos, sin la intervención de grandes volúmenes de agrotóxicos.

La conservación de las áreas forestales para el Ecuador, así como todas las medidas destinadas a la obtención de buenos resultados productivos, tiene un gran significado, pues son muchas las familias de esta nación que dependen de los frutos que emanan de este sector.

Las acciones encaminadas a proteger las plantaciones forestales del ataque de plagas requiere cada vez más de técnicas complejas como el uso de drones, cámaras multiespectrales y Sistemas de Información Geográfica, los que permiten obtener mapas que identifiquen los sitios con mayor o menor riesgo.

La tesis de maestría “Niveles de Vigoridad de Plantaciones de Teca (*Tectona grandis*) Mediante Índices de Vegetación en cantón Buena Fe, año 2020” del autor ingeniero Henry Plaza Duarte, está dirigida a evaluar los riesgos en las plantaciones forestales y contribuir así al aseguramiento de producciones sostenibles.

Dr. Mario Herrera Soler  
**Agroclimatólogo y Agroecólogo**

## RESUMEN EJECUTIVO

La Teca, *Tectona grandis*, es una especie maderable introducida en el Ecuador con alto valor comercial. Se extiende por todo el litoral ecuatoriano en más de cincuenta mil hectáreas. Desde hace pocos años se reporta en varias plantaciones muerte descendente de árboles que inician con síntomas de pérdida de vigorosidad. Algunas investigaciones preliminares anuncian la presencia de varios hongos como principal agente causal de la enfermedad y a insectos escolítidos como posibles vectores en la transmisión y diseminación de la enfermedad. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI), a través del uso de drones, cámaras multiespectrales y sistemas de información geográfica permite obtener mapas que identifican los sitios con mayor o menor vigor. La caracterización de las plantaciones en estratos por los niveles de vigorosidad de los árboles permitirá realizar acciones de manejo silvicultural adecuado y oportuno que podrían reducir niveles de estrés en los árboles y mejorar la calidad y sanidad de las mismas. El trabajo evaluó los niveles de vigorosidad en una plantación de *Tectona grandis* (teca) de 17,95 hectáreas en edades de cuatro, siete y diez años, mediante el índice de vegetación NDVI y fue comparado con datos de muestreo de parcelas instaladas en campo. Se obtuvieron tendencias similares en los niveles de menor y mayor vigor tanto en los resultados de la foto aérea como de los datos de campo. Los niveles de vigorosidad encontrados muestran buenas correlaciones para la variable dasométrica área basal.

## ABSTRACT

Teak, *Tectona grandis*, is a timber species introduced in Ecuador with high commercial value. It extends throughout the Ecuadorian coast in more than fifty thousand hectares. Since a few years ago, descending death of trees that start with symptoms of loss of vigor have been reported in several plantations. Some preliminary investigations announce the presence of several fungi as the main causal agent of the disease and Scolitydae insects as possible vectors in the transmission and dissemination of the disease. The Normalized Index of Vegetation, (NDVI), through the use of drones, multispectral cameras and geographic information systems allows to obtain maps that identify sites with greater or lesser Vigor. The characterization of the plantations in strata by the levels of vigor of the trees will allow for appropriate and timely silvicultural management actions that could reduce tree stress levels and improve the quality and health of the trees. The work is aimed at assessing the levels of vigor in a *Tectona grandis* (teak) plantation, using vegetation indices NDVI. The work evaluated the vigorousness levels in a 17.95 hectare *Tectona grandis* (teak) plantation at ages four, seven and ten years, by means of the NDVI vegetation index compared to sampling data from plots installed in the field. Similar trends were obtained in the levels of lower and higher vigor both in the results of the aerial photo and the data taken in the field. Vegetation indices obtained from the images and compa data showed acceptable correlations with dasometric variables such as basal area.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
PRÓLOGO.....	vi
RESUMEN EJECUTIVO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
<hr/>	
CAPÍTULO I.....	01
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	01
1.1 Ubicación y contextualización de la problemática.....	02
1.1.1 Situación actual de la Problemática.....	02
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	02
1.3 OBJETIVOS.....	03
1.3.1 Objetivo General.....	03
1.3.2 Objetivo Específico.....	03
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	03
<hr/>	
CAPÍTULO II.....	04
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	04
2.1 Marco conceptual.....	05
2.1.1 Índices de vegetación.....	05
2.1.2 <i>Tectona grandis</i> , Teca.....	05
2.1.4 Vehículos aéreos no tripulados: drones.....	05
2.1.5 Agricultura de precisión.....	06
2.1.6 Imágenes multiespectrales.....	06
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	07
2.2.1 Descripción botánica de la teca.....	07
2.2.2 Principales enfermedades y plagas en teca ( <i>Tectona grandis</i> )...08	
2.2.3 Detección de enfermedades en plantaciones forestales por fotografías aéreas multiespectrales.....	11

2.2.4 Índices de Vegetación.....	13
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	14
<hr/>	
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>16</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.3 CONSTRUCCIÓN METODOLOGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACION.....	17
3.3.1 Diseño de investigación.....	17
3.3.1.2 Parcelas de muestreo.....	17
3.3.1.3 Variables cuantitativas.....	17
3.3.1.4 Variables cualitativas.....	18
3.3.2 Obtención de Fotografías Aéreas Multiespectrales.....	19
3.4 INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACION.....	19
3.4.1 Fuentes de obtención de la información.....	19
3.4.2 Materiales.....	21
3.4.2.1 Equipos y materiales para obtención de imágenes multiespectrales.....	21
3.4.2.2 Equipos Informáticos.....	21
3.4.2.3 Equipos de medición dasométrica.....	21
3.4.2.4 Equipos de volteo, troceo y diagnóstico de árboles.....	21
3.4.2.5 Materiales para instalación de parcelas.....	21
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	21
<hr/>	
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>23</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>23</b>
<hr/>	
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>40</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>40</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	41
5.2 RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXOS.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2.1. Principales plagas encontradas en plantaciones de teca..	09
Tabla 2.2. Principales hongos encontrados en plantaciones de teca..	10
Tabla 4.1. Clasificación en Niveles de Vigorosi- dad para el total de la Plantación obtenidos por Foto Aérea Multiespectral.....	27
Tabla 4.3 Superficie de Niveles de Vigorosi- dad para el total de la Plantación obtenidos por Foto Aérea de muestreo.....	27
Tabla 4.4 Porcentajes de Niveles de Vigorosi- dad para el total de la Plantación obtenidos por Foto Aérea de muestreo.....	28
Tabla 4.5 Caracterización de Árboles en Parcelas de Muestreo por Niveles de Vigorosi- dad.....	31
Tabla 4.6 Comportamiento de los Niveles de Vigorosi- dad en porcentaje en base a mediciones directas en campo.....	32

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Mapa general de la plantación con lotes y ubicación de parcelas.....	20
Figura 4.1 Ortomosaico del área de estudio. Lotes 22, 23 y 19.....	25
Figura 4.2 Imagen de análisis NDVI.....	25
Figura 4.3 Histograma de frecuencias de valores de pixel NDVI.....	26
Figura 4.4 Mapa de Parcelas de Muestreo con Niveles de Vigoridad 0, 1,2 y 3.....	29
Figura 4.5 Mapa Multiespectral de la Plantación.....	30
Figura 4.6 Evaluaciones del estado de la Teca en las parcelas 2 y 3 del lote 19 con mediciones de campo y por imágenes del NDVI.....	33
Figura 4.7 Evaluaciones del estado de la Teca en las parcelas 4 y 5 del lote 19 con mediciones de campo y por imágenes del NDVI.....	33
Figura 4.8 Evaluaciones del estado de la Teca en la parcela 6 del lote 19 con mediciones de campo y por imágenes del NDVI.....	34
Figura 4.9 Diferentes modelos de dispersión relacionados con las correlaciones existentes.....	35
Figura 4.10 Diagrama de dispersión del Índice de Vigoridad (IV) y el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).....	36
Figura 4.11 Diagrama de dispersión del Índice de Vigoridad (IV) y el área basal del Nivel 1 de Vigoridad (árboles enfermos) en parcelas.....	37
Figura 4.12 Diagrama de dispersión del Índice de Vigoridad (IV) y el Nivel 2 de Vigoridad (árboles desarrollo moderado) en parcelas.....	38
Figura 4.13 Diagrama de dispersión del Índice de Vigoridad (IV) y el área basal del Nivel 3 de Vigoridad (árboles de mayor desarrollo) en parcelas.....	39

## INTRODUCCIÓN

La teca, *Tectona grandis*, es una especie nativa del Asia, que crece bastante bien en el Ecuador, esta característica, asociado a su buen precio en los mercados internacionales, y al programa gubernamental de incentivo económico, provocó en la última década un aumento considerable de las plantaciones establecidas en el país.

Respecto a plagas y enfermedades conocidas en las plantaciones de teca en el país, se identifican varias, sin que se hayan informado pérdidas económicas significativas aún. Entre las principales, la roya de las hojas (*Olivea tectonae*), hormigas (*Atta spp*) y Dieback (Ugalde, 2013a).

Actualmente, en varias plantaciones se ha reportado muerte descendente en árboles, generando gran preocupación en los productores. Inicialmente, los árboles presentan pérdida de vigorosidad y posterior muerte. En la mayoría de plantaciones con presencia de esta enfermedad se han detectado varios árboles localizados en focos, lo que hace prever que insectos vectores provoquen o diseminen la enfermedad. La presencia de esta afectación se ha encontrado desde la provincia del Oro (Sur del Ecuador) hasta las provincias del Guayas, Los Ríos y Santo Domingo (Centro-Norte del país). Estudios preliminares, no publicados aún, realizados por expertos investigadores del INIAP (Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador), han encontrado hongos como la principal causa de la muerte de los árboles, entre los principales, *Fusarium spp*, *Ceratocystes spp* y *Phytophthora*, sin que estos resultados sean concluyentes todavía.

El estudio de los Índices de Vegetación Normalizados (NDVI), obtenidos a partir de la toma de fotos aéreas con drones y cámara multiespectral, permite zonificar las plantaciones por niveles de vigorosidad. Estos niveles, a su vez, pueden asociarse con zonas de buen o mal crecimiento, permitiendo en los sitios de bajo crecimiento realizar acciones de manejo puntuales para mejorar las

condiciones del sitio y así minimizar o reducir las posibilidades de enfermedades en las plantaciones. Sánchez et al, 2016, demostraron en estudios realizados con drones la gran utilidad de estos equipos para el seguimiento y evaluación de actividades agroforestales. Por otra parte, las limitaciones determinadas por la distancia y las grandes extensiones a ser objeto de análisis, pueden ser mitigadas por la disponibilidad de información captadas por estos sensores remotos (Jobbágy et al., 2002; Knapp y Smith, 2001).

En este estudio se tomaron fotografías aéreas con Dron y cámara multi-espectral en una plantación de 17,95 hectáreas entre cinco, siete y diez años de edad, afectada con bajo vigor de los árboles y en varios casos con muerte descendente. Mediante el uso del software Arc Gis y aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica y con la ayuda de los Índices de Vegetación, se obtuvieron mapas con niveles de vigorosidad: alta, media y baja.

Los porcentajes de índices de vegetación encontrados a través de la foto aérea, muestran tendencias similares a los resultados obtenidos a través de la toma de datos en campo de nueve parcelas de monitoreo instaladas.



# CAPÍTULO I.

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

## **1.1 UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

Pérdida de vigorosidad y posterior muerte descendente de árboles de teca ha sido detectada a lo largo de las plantaciones establecidas en la provincia de El Oro, Guayas, Los Ríos, Santo Domingo.

El trabajo para la estratificación en niveles de vigorosidad mediante análisis de índices de vegetación con el uso de fotografías multi espectrales, se realizó sobre una superficie de 17,95 hectáreas ubicadas en la zona de Fumisa, cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos.

Los resultados permitieron correlacionar los diferentes niveles de vigorosidad obtenidos a través de los análisis multiespectrales con la realidad de las plantaciones.

### **1.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA**

Se han reportado varios casos de la pérdida de vigorosidad en algunas plantaciones a lo largo del litoral ecuatoriano. Se han encontrado árboles afectados por muerte descendente, con sintomatología preliminar de pérdida de vigor en edades desde tres hasta diez años de edad. Algunos rodales se han visto afectados severamente, mientras en otras plantaciones ya se evidencian sitios con árboles muertos.

Como alternativas de manejo silvicultural, al desconocer las causas de la pérdida de vigorosidad, se toman pocas acciones en el manejo de las plantaciones, pudiendo ser eliminación de árboles enfermos o la desinfección de herramientas de poda. El diagnóstico o monitoreo del estado fitosanitario de la plantación, a nivel de recorridos de campo en terreno, requiere de personal especializado y puede resultar tedioso, poco preciso y de alto costo.

## **1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Es posible, a través de los análisis NDVI lograr una estratificación que refleje los niveles de vigorosidad reales en plantaciones de Teca?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar los niveles de vigorosidad en una plantación de *Tectona grandis*,( teca), mediante índices de vegetación

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1.3.2.1 Obtener índices de vegetación NDVI en la plantación

1.3.2.2 Diseñar un mapa multispectral por niveles de vigorosidad

1.3.2.3 Determinar el estado fitosanitario de la plantación

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La enfermedad que se presenta en teca, pérdida de vigorosidad con muerte descendente en árboles, aún no ha sido identificada, por lo tanto, no se dispone de suficientes métodos que permitan realizar un manejo adecuado para evitar o reducir las pérdidas por muerte o bajo desarrollo de los árboles. Se hacen pocas acciones preventivas como la desinfección de herramientas o volteo y erradicación de árboles enfermos.

El monitoreo de plantaciones mediante el uso de tecnologías modernas como los sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica pueden ser de gran ayuda por su facilidad y rapidez en la obtención de información. Los análisis NDVI obtenidos desde fotos aéreas con cámaras espectrales permiten identificar problemas de vigor en plantaciones. El conocimiento oportuno del estado fitosanitario de las plantaciones muy comúnmente asociado a la vigorosidad de los árboles permite a ingenieros y productores tomar decisiones en el manejo forestal y así reducir las posibilidades de enfermedades en los árboles.



# **CAPÍTULO II.**

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

## **2.1 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1.1 Índices de vegetación**

Los índices de vegetación o índices verdes son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Esperanza y Zerda, 2002, citado por Gonzaga, C., 2014).

Son valores digitales que permiten medir la biomasa o vigor vegetal (Kharuf et al, 2018)

Un índice de vegetación, puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert et al, 1997, citado por Muñoz P, 2013)

### **2.1.2 *Tectona grandis*, Teca**

Es un árbol frondoso de la familia de las Verbenáceas que alcanza hasta los 30m de altura. Es muy valiosa ya que tiene la capacidad de no dañarse al entrar en contacto con metales por lo que sirve para la fabricación de muebles y embarcaciones de alto valor. Es nativo de la India, Birmania y Laos. Se ha evidenciado que el aporte de madera al mundo desde los bosques naturales no es posible por lo que ha aumentado el interés por el establecimiento de plantaciones de teca. (Ugalde, 2013)

### **2.1.4. Vehículos aéreos no tripulados: drones**

Es una aeronave sin tripulación a bordo, con unas características excepcionales para realizar vuelos, controlada remotamente por un piloto mediante un sistema de control. La observación aérea mediante los drones conlleva la formación de cuatro conjuntos, necesarios para la recolección de datos, obtenidos tanto de la plataforma aérea como de la estación terrestre: Plataforma de vuelo, sistema de control de vuelo (GPS), sistema de lanzamiento y recuperación y sistema de comunicaciones a través de la radio. (Díaz, 2015)

## 21.5 Agricultura de precisión

Significa optimizar la calidad y cantidad de un producto agrícola para reducir los costos de operación, mediante el uso de tecnologías eficientes. No solamente se basa en estimar las variaciones de un cultivo o área sino en tomar decisiones respecto a las prácticas que se ejecutarán en base a esa variabilidad. Además, es posible aplicar los insumos en dosis variables gracias a puntos definidos por coordenadas conocidas. (Kharuf et al, 2018)

## 21.6. Imágenes multiespectrales

Una cámara multiespectral es aquella que puede recoger imágenes haciendo uso de diferentes frecuencias de onda simultáneamente. Esto significa que las imágenes que se van a captar no se limitan únicamente al espectro de la luz visible (la que percibe el ojo humano), sino que podrá graduarse para obtener diferentes imágenes según el tipo de onda a lo largo del espectro electromagnético.

Dentro de las tecnologías de percepción remota de la agricultura de precisión existe la obtención de imágenes del terreno, el suelo y cobertura en las áreas cultivadas o boscosas; la captura de estas imágenes se realiza simultáneamente en varios rangos del espectro electromagnético llamados bandas, y la necesidad de su adquisición radica en las propiedades espectrales (reflectancia, transmitancia y absorbancia, entre otras) del suelo y de las plantas en sus diferentes etapas de desarrollo, las cuales van ligadas estrechamente a factores como actividad fotosintética, cantidad de agua, clorofila, biomasa, entre otros. Las imágenes multiespectrales están formadas por relativamente pocas bandas (normalmente entre 3 y 20) y son bandas no necesariamente contiguas unas a otras (Álava, 2020).

Las coberturas de interés en agricultura cuentan con unas firmas espectrales típicas, las cuales son curvas de reflectividad espectral que se encuentran en los rangos de longitudes de onda

del espectro de la luz visible (~400nm a ~700nm) y el infrarrojo cercano, medio y térmico (~700nm a ~1400nm). En el caso de las coberturas vegetales, las diferencias entre las firmas espectrales de la vegetación sana y estresada son notables y su análisis cuantitativo es posible mediante diversas técnicas como el cálculo de índices vegetacionales. Como resultado de estos análisis se hace posible la realización de diagnósticos en variables claves tales como productividad (Jimenez, 2016)

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.2.1 Descripción botánica de la teca**

Según Rudjiman, 1992, citado por Ugalde (2013b), el género *Tectona*, tiene cuatro especies: *Tectona grandis* Linn, *Tectona hamiltoniana* Wall y *Tectona philipinensis* Benth. De estos, *T grandis*, es la más importante en términos de producción de madera y proyectos de plantaciones. *T grandis*, fue descrita por primera vez en 1781 por el botánico sueco C. Linneaus.

Su lugar de origen se circunscribe únicamente a cuatro países: India, Laos, Myanmar y Tailandia. “El árbol es largo y deciduo, puede crecer a más de 50m en altura y hasta 2m en diámetro” Benthall, 1933; citado por Ugalde, 2013, p. 17.

En Centro américa puede alcanzar alturas sobre los 30m. Para Weaver, 2000, citado por Flores, et al., 2010a, la teca es un árbol caducifolio grande, natural del sudeste asiático que puede alcanzar hasta 45m de altura. Tiene un tronco cilíndrico recto y su corteza fina de color marrón claro se desprende en grandes láminas delgadas. En árboles maduros el tronco tiende a ser irregular y forma en la base contrafuertes de hasta dos metros de altura.

Generalmente presentan dominancia apical que se pierde con la prematura floración. El fruto es una drupa más o menos tetragonal y aplanada.

La teca tiene una densidad de 590 kg m<sup>-3</sup> por lo que se la ubica entre las maderas pesadas y con baja contracción volumétrica por lo que se la define como estable (Telles et al., 2017)

## **2.2.2 Principales enfermedades y plagas en teca (*Tectona grandis*)**

La mayoría de los patógenos de la teca han sido identificados originarios del Lejano Oriente y de la India.

Unos pocos son originarios del África y América. (Weaver, 2000 citado por Flores et al., 2010b).

En Brasil, se reporta que algunas enfermedades ponen en riesgo la producción de *Tectona grandis*, entre ellos el cancro de la teca, producido por *Lasiodiplodia theobromae*. Ensayos en laboratorio para control de esta enfermedad con hongos fitopatogénicos como *Trichoderma sp* y *Bacillus sp* mostraron buenos resultados (Ferreira et al., 2018).

Schell et al., 2016, menciona que se debería tener especial atención para reducir las probabilidades de plagas y enfermedades en plantaciones que podrían causar pérdidas de producción.

Según Pinzón, 2007 citado por Flores et al., 2010c, los árboles, al igual que cualquier otra planta, son susceptibles de ataque de organismos fitófagos que pueden comprometer su sobrevivencia generando pérdidas económicas importantes. En cualquier modelo de establecimiento, ya sea como árboles individuales, asociaciones con otros cultivos o plantaciones puras, los árboles pueden sufrir daños relacionados con enfermedades y plagas.

Para los mismos autores, a un insecto se lo considera plaga forestal, cuando se producen pérdidas que afectan los valores económicos, ecológicos y sociales que se relacionan con los árboles.

Para Ramírez, 1997, citado por Flores et al., 2010d, se identifica como enfermedad a “todo cambio o alteración morfo-fisiológica,

con duración e intensidad suficiente para causar perjuicio o terminación de la actividad vital”.

En el estudio realizado en el año 2004, en el cantón Balzar, región costa del Ecuador, publicado por Flores., et al 2010, cuyo objetivo fue identificar plagas y agentes causales de enfermedades se encontraron algunas familias de insectos en niveles considerados como plaga.

En la tabla 2.1 se muestran las principales especies de insectos encontrados en el estudio publicado por Flores et al., 2010.

**Tabla 2.1.** Principales plagas encontradas en plantaciones de teca.

Nombre Científico	Familia	Orden	Común	Daño
<i>Hyadaphis erysimi</i>	Aphydidae	Homoptera	Pulgón	Picador, chupador
<i>Atta sp</i>	Formicidae	Hymenoptera	Arriera	Defoliador
<i>Scolytus sp.</i>	Scolytidae	Coleoptera	Polilla	Perforador
<i>Schistocercu sp.</i>	Acrididae	Orthoptera	Grillos	Trozador de brotes y yemas
<i>Hemileuca maia</i>	Saturnidae	Lepidoptera	Langosta	Defoliador

**Fuente:** Flores et-al, 2010.

#### *Enfermedades producidas por hongos*

En el estudio realizado por Flores et al 2010, se encontraron varios síntomas de enfermedades por diferentes hongos. Entre ellos:

*Ceratocystis sp:* En diferentes edades de árboles se observa un marchitamiento en el brote terminal avanzando hacia abajo por el tallo. *Phytopthora sp.* En árboles en suelo anegados causa la pudrición de las raíces provocando la muerte descendente del árbol.

*Botryodiplodia sp.* En los puntos de poda, exudaciones de color oscuro, duramen rodeado de coloración oscura con bordes de color café, la misma que desciende hasta el cuello del árbol.

Los principales hongos que producen enfermedades, encontrados por Flores et al 2010, se muestran en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Principales hongos encontrados en plantaciones de teca.

Nombre Científico	Orden	Clase	Daño
<i>Colletrotichum sp.</i>	Melanconiales	Deuteromycetes	Marchitamiento del follaje
<i>Olivea tectonae</i>	Uredinales	Basidiomycetes	Marchitamiento del follaje
<i>Phytophthora sp.</i>	Peronosporales	Oomycetes	Sistema radicular
<i>Botryodiplodia sp</i>	Botryosphaerales	Ascomycetes	Fuste

**Fuente:** Flores et-al, 2010.

Según Ugalde, 2013c, la teca es atacada por numerosos hongos, insectos y enfermedades, pero sus efectos tienden a ser moderados y manejables. Principalmente es atacada por larvas defoliadoras, tales como *Hyblaea puera* y *Phyrausta machoeralis*. Estos ataques pueden ser efectivamente tratados con agentes biológicos como *Bacillus thuringiensis*.

Para el mismo autor, *Olivea tectonae*, *Hyblaea puera* y dieback son los más importantes plagas y enfermedades causantes de la mayoría de daños a plantaciones comerciales de teca en varios países de América tropical.

### **Enfermedades de origen múltiple**

Arguedas, 2006a, describe que, en plantaciones de teca mayores a siete años, en regiones húmedas, con precipitaciones arriba de los 2500mm por año, se observa un proceso de mortalidad de árboles aislados y en grupos, denominado “síndrome de decaimiento lento de la teca” (p.6). Los árboles afectados muestran degeneración de las raicillas adventicias que produce la muerte de ellas.

Según Arguedas, 2006b, estudios realizados, no citados por el autor, demuestran que el fenómeno está asociado a factores climáticos y edafológicos que afectan al sistema radical, para posteriormente, hongos y otros patógenos oportunistas aprovechar el estrés de la plantación para atacar.

### **2.2.3 Detección de enfermedades en plantaciones forestales por fotografías aéreas multiespectrales**

Según indica Díaz, 2015a, el uso de la teledetección es cada vez más usado en el análisis y gestión de los recursos naturales. Para Berni et al 2009, citado por Díaz, 2015b, la teledetección es necesaria para identificar determinados problemas que afectan el desarrollo de los cultivos:

- » Manejo eficiente del agua
- » Tratamiento localizado de herbicidas
- » Uso óptimo de fertilizantes
- » Conteo de plantas
- » Supervisión de áreas fumigadas
- » Detección temprana de plagas y enfermedades en cultivos

#### ***Ventajas en el uso de fotografías aéreas multiespectrales***

Según Díaz, 2015c, al agricultor, ver su cultivo desde el aire, le va a permitir detectar:

- Patrones que descubren todo tipo de incidencias: Problemas de riego, variaciones en el suelo, infestaciones de plagas y malas hierbas que no se ven a nivel del suelo
- Imágenes multiespectrales, de datos capturados desde el infrarrojo que junto al visual se pueden combinar para obtener imágenes que diferencian las plantas sanas de las plantas enfermas que el ojo humano no ve.
- Información periódica, cuya combinación de imágenes permite apreciar cambios en el cultivo, revelando áreas con problemas, brinda oportunidades para mejorar la gestión en el manejo del cultivo.

Para Jiménez, 2009a, la disponibilidad de imágenes obtenidas a partir de los satélites, tienen dos limitaciones principales:

- 1) La falta de imágenes con la resolución espacial y espectral óptima; y
- 2) Un tiempo de revisita desfavorable para la mayoría de aplicaciones de detección de estrés en cultivos.

El mismo autor indica que si bien existen alternativas, como son las plataformas aéreas tripuladas, estas son de alto costo, en cuyo caso no permitiría realizar tomas con mayor frecuencia, tratando así de identificar cambios en la variable tiempo.

Información sobre el NDVI ha estado disponible en los programas de la NASA (James y Kallury, 1994) desde la década de los noventa. Con resoluciones de 7,1 km, la FAO ha monitoreado las condiciones ambientales a través de imágenes de satélite (Groten, 1993; Hess et al, 1996), incluyendo las condiciones asociadas con la dinámica de las poblaciones de insectos (Robinson, 1991; Baylis et al, 1998; Thomson y Connor, 2000).

Debido a la calidad de la absorbancia que presenta la clorofila en las hojas de las plantas, el valor del NDVI es sensible a estas condiciones, de forma que cuando la vegetación presenta coloraciones verdes, es abundante y con buen abastecimiento hídrico el NDVI tiende a tomar valores altos, mientras que con vegetación escasa, con poco verdor y bajo abastecimiento hídrico el NDVI toma valores bajos (Tucker, 1979). Las condiciones no favorables en ocasiones están asociadas con la presencia de insectos. Estas circunstancias fueron evaluadas en plantaciones con ataques de langostas *Schistocerca gregaria* las que fueron comparadas con estaciones en ausencia de la plaga, encontrándose patrones de comportamiento de la vegetación relacionadas con estas condiciones (Tratalos y Cheke, 2006).

El siguiente enunciado por la American Society of Photogrammetry 1975, citado por Prodan et al., 1997 describe la versatilidad ya observada del uso de imágenes multiespectrales, desde hace algunas décadas. “La función de los sensores remotos es registrar la radiación electromagnética emitida o reflejada por los diferentes cuerpos, algunos sensores permiten la ampliación del

espectro visible, obteniéndose imágenes de los objetos mediante la captación de energía que éstos reflejan en la región invisible del espectro electromagnético, lo que representa una ventaja adicional sobre la cantidad de información interpretable”.

Las soluciones para cubrir ese espacio entre las imágenes de satélite y el uso de equipos aéreos tripulados, sería el uso de los equipos aéreos no tripulados UAV (Unmanned aerial vehicules) o comúnmente conocidos como drones. Mediante esta tecnología se podrá obtener imágenes precisas satisfaciendo las necesidades de resolución espacial, temporal y espectral. (Jiménez, 2009b)

## **2.2.4 Índices de Vegetación**

Ponvert y Lau, 2013, usaron la extracción de los niveles digitales de las imágenes de los varios índices de vegetación calculados, entre ellos el índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI) para determinar la conductividad eléctrica de los suelos. El objetivo fue determinar la salinidad de los suelos por prácticas de riego inadecuadas usando redes neuronales de índices de vegetación.

Para Esperanza y Zerda, 2002, citados por Gonzaga, 2014, los índices de vegetación son transformaciones obtenidas a partir de combinaciones matemáticas “entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen” (p.40).

A mayor cantidad de clorofila, mayor absorción de la luz roja. Así mismo, a mayor área foliar, mayor reflectancia de la luz infrarroja cercana. (Towers, 2002 citado por Gonzaga, 2014)

Para Gonzaga, 2014, los análisis de índices de vegetación permiten conocer rápidamente el estado vegetativo de un cultivo.

## 2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La Constitución de la República del Ecuador consagra, respecto al Sistema Económico, que debe reconocer al hombre como un ser humano, sujeto de la relación dinámica y equilibrada de la sociedad y el Estado, manifestándose en armonía con la naturaleza, esto para hacer hincapié, sobre la erradicación de la tala indiscriminada de árboles que conduce al desequilibrio ambiental. En tal sentido señala que, el Estado “tiene por objetivo garantizar la producción y reproducción de las condiciones materiales e inmateriales que posibiliten el buen vivir. El sistema económico se integrará por las formas de organización económica pública, privada, mixta, popular y solidaria, y las demás que la Constitución determine. La economía popular y solidaria se regulará de acuerdo con la ley e incluirá a los sectores cooperativistas, asociativos y comunitarios. (Asamblea Nacional, 2008)

El Código Orgánico de la Producción, Comercio e inversiones (COPCI, Art. 4), se refiere a la motivación de las inversiones como una de las tácticas para la consecución del desarrollo de la producción con la ayuda de la empresa privada, fines que están establecidos en los siguientes literales:

- a. Transformar la Matriz Productiva, para que esta sea de mayor valor agregado, potenciadora de servicios.
- d. Generar trabajo y empleo de calidad y dignos, que contribuyan a valorar todas las formas de trabajo y cumplan con los derechos laborales.
- g. Incentivar y regular todas las formas de inversión privada en actividades productivas y de servicios, socialmente deseables y ambientalmente aceptable.
- h. Regular la inversión productiva en sectores estratégicos de la economía, de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo.

l. Impulsar el desarrollo productivo en zonas de menor desarrollo económico.

j. Promover las actividades de la economía popular, solidaria y comunitaria, así como la inserción y promoción de su oferta productiva.

La *Tectona Grandis* (Teca), está viviendo una demanda acelerada en el mercado mundial, países como Ecuador, Brasil, Panamá, Colombia han comenzado a sembrar plantaciones de esta madera, por cuanto la demanda de Teca ha comenzado a ser reconocida a nivel mundial, en tal sentido los inversionistas y agricultores, saben que es muy rentable invertir en este tipo de plantaciones, más aun cuando de parte del gobierno nacional se cuenta con incentivos forestales.

El Código Ambiental en su Art. 97, faculta a la Autoridad Nacional de Agricultura, la regulación, planificación, promoción, fomento y gestión de plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción, con fines comerciales y en su art. 98 establece las siguientes atribuciones: lit 8, dictar la normativa técnica para la prevención, control y erradicación de plagas y enfermedades de las plantaciones forestales de producción.

Al referirse a las Plagas y enfermedades en su Art. 136, establece que las entidades y organismos del Régimen Forestal Nacional, en coordinación con las entidades competentes, ejecutarán medidas fitosanitarias, actividades de prevención, detección, monitoreo, control y erradicación de plagas y enfermedades forestales



# **CAPÍTULO III.**

**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación realizada es de tipo correlacional, ya que se persigue encontrar correlaciones entre sectores con plantas enfermas y los análisis de las imágenes multiespectrales.

### **3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

El método de investigación será del tipo deductivo, ya que a partir de fotografías aéreas más toma de datos de árboles en pie se determinarán los diferentes niveles de vigorosidad de las plantaciones.

### **3.3 CONSTRUCCIÓN METODOLOGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACION**

#### **3.3.1 Diseño de investigación**

##### **3.3.1.2 Parcelas de muestreo**

Actualmente la plantación cuenta con parcelas de medición permanente de 1000 m<sup>2</sup> ubicadas sistemáticamente con una intensidad de muestreo del 2% respecto a todo el rodal.

##### **3.3.1.3 Variables cuantitativas**

Cada uno de los árboles de la parcela serán evaluados, tomando los siguientes datos: Dap, altura total, altura comercial. A partir de estos datos se obtendrán otras variables dasométricas como el Área Basal y el Volumen.

Para el cálculo del Área Basal se usará la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi DAP^2}{4}$$

AB = Área Basal en metros cuadrados

$\pi$  = Constante Pi

DAP = Diámetro en metros tomado a la altura del pecho.

El volumen de cada árbol se obtendrá con la siguiente expresión:

$$V=AB \times L \times FF$$

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos

AB = Área Basal en metros cuadrados

FF = Factor de Forma

### **3.31.4 Variables cualitativas**

A cada uno de los árboles de la parcela se le asignó un valor que determine el nivel de su estado fitosanitario.

Pérdida de vigor

La pérdida de vigor se evaluará en base a los siguientes códigos:

- 1) PV0 = Cuando el árbol está totalmente sano y no presenta pérdida de vigor.
- 2) PV1 = El árbol presenta pocos síntomas de pérdida de vigorosidad
- 3) PV2 = El árbol tiene síntomas avanzados de pérdida de vigorosidad
- 4) PV3 = La pérdida de vigor en los árboles es muy alta. El árbol está cerca de morir o muerto.

### **3.31.5 Presencia de Enfermedades**

La segunda variable a evaluar será la presencia de enfermedades, de tal manera de correlacionar a estas con la pérdida de vigorosidad.

Las causas de la principal enfermedad del árbol se identificarán de la siguiente manera:

- 1) Sano = no presenta ninguna enfermedad
- 2) Polillas = Si se observan perforaciones a lo largo del fuste con presencia de insectos escolítidos.

- 3) Die Back = Si se observa corchosis o pudrición en la base del árbol haciendo pequeñas excavaciones cerca de las raíces. (Ugalde, 2013)
- 4) Cancro = Daños y exudaciones o podredumbres visibles en algunas partes del fuste.
- 5) Roya de la Teca = Hojas con presencia del hongo *Olivea tectonae*

### **3.3.2 Obtención de Fotografías Aéreas Multiespectrales**

La toma de fotografías aéreas multiespectrales se realizaron con el uso de UAV Dron de ala fija Ebee, el equipo está equipado con cámara multiespectral. Para realizar las tomas aéreas se elaboró el plan de vuelo para cubrir toda la plantación.

## **3.4 INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.4.1 Fuentes de obtención de la información**

Revisión bibliográfica de los trabajos relacionados con la utilización de drones y otros medios para la obtención de imágenes del NDVI para relacionarlos con el vigor de las plantaciones forestales y su estado de salud, en general.

#### **3.4.1.1 Ubicación Geográfica del sitio de Estudio**

Cantón: Buena Fé

Provincia: Los Ríos

Sitio: Fumisa

Coordenadas geográficas: W79 24'15"; S0 42'30"

Superficie: 17,95 ha

En figura 3.1 se muestra el mapa del área de estudio con lotes por edad de la plantación en tres rodales: de 5 años (4,44ha); de 7 años (4,83ha); de 10 años 8,7 ha). Adicional se muestran también la ubicación de parcelas de muestreo.

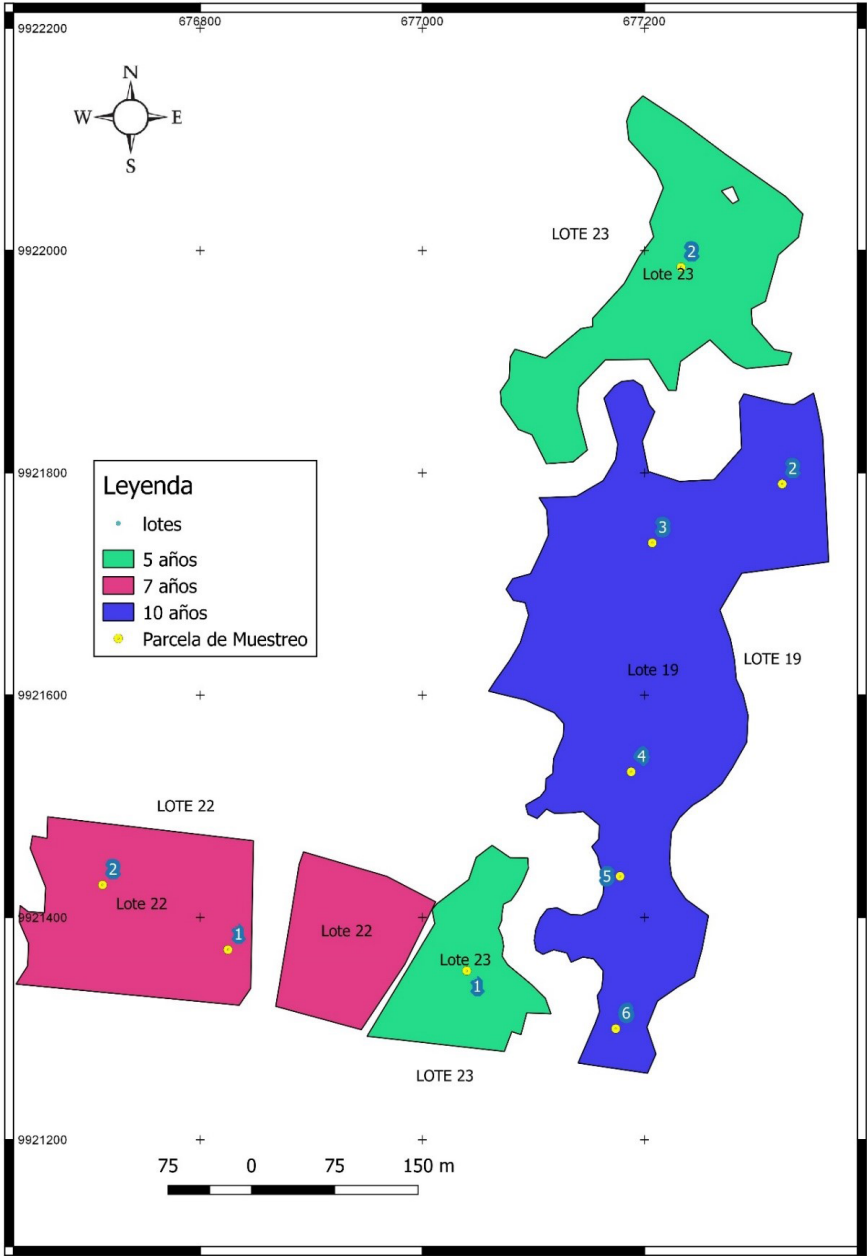


Figura 3.1. Mapa general de la plantación con lotes y ubicación de parcelas

## **3.4.2 Materiales**

### **3.4.2.1 Equipos y materiales para obtención de imágenes multispectrales**

- a. UAV Dron de Ala Fija EBee
- b. Cámara fotográfica multispectral.

### **3.4.2.2 Equipos Informáticos**

- a. Softwares: ARC GIS 10.1; Excel 2000, SPSS, Word.

### **3.4.2.3 Equipos de medición dasométrica**

- a. Cinta diamétrica
- b. Hipsómetro Suunto
- c. Telémetro Nikkon
- d. Cinta métrica.

### **3.4.2.4 Equipos de volteo, troceo y diagnóstico de árboles**

- a. Motosierra
- b. Lupa
- c. Cámara fotográfica convencional

### **3.4.2.5 Materiales para instalación de parcelas**

- a. Cinta métrica,
- b. Machetes
- c. Balizas
- d. Pintura

## **3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

Mediante los datos obtenidos de las variables cuantitativas y cualitativas de las parcelas y los análisis del Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación en las fotografías obtenidas del área

de las mismas parcelas, se determinó la correlación existente entre los valores obtenidos de las observaciones vs los valores NDVI obtenidos a partir de las fotos.

El Índice de diferencia normalizada de vegetación se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{(\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}})}{(\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}})}$$

Donde:

NIR = Reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano

RED = Reflectancia en el canal del rojo visible.

Una vez encontradas las correlaciones, se realizó el método inverso; con el uso de las fotografías se determinaron los valores para otros sitios fuera de las parcelas de monitoreo. Estos valores se verificaron en campo para validar las correlaciones existentes entre los análisis NDVI a partir de las fotografías versus los datos reales de campo.

Como punto final de la investigación, una vez obtenidos y correlacionados los valores NDVI para las fotografías aéreas, se escogieron los valores de menor valor de vigorosidad de la plantación representados en el mapa multiespectral.

Para el proceso del análisis NDVI de las imágenes multiespectrales se empleó el software de Información Geográfica ARC GIS. Los datos obtenidos, de los análisis de imágenes y del monitoreo en campo se analizaron estadísticamente en el software SPS.

Los valores de los índices encontrados mediante los análisis NDVI, se contrastaron con los valores de los índices encontrados en la valoración del estado fitosanitario de los árboles.



# **CAPÍTULO IV.**

**RESULTADOS Y DISCUSION**

Con las imágenes obtenidas en el vuelo realizado con el uso del equipo UAV Dron de Ala Fija marca Ebee, con cámara multiespectral que trabaja con cuatro bandas (Red, Green, Blue y NIR). Se obtuvieron varios mapas de reflectancia sin corrección radiométrica, los que fueron tratados con el software Arc Gis y aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica. Los mapas presentan la reflectancia de los objetivos en cada banda.

Los mapas no consideran un grupo de factores que son variables y pueden tener influencia en los resultados, como son los siguientes: Hora de captura, la nubosidad, la altitud, la visibilidad y la iluminación.

Para la generación de mapas con un nivel adecuado de precisión es necesario realizar calibraciones radiométricas (Data Set), las que se realizan primeramente en el campo, partiendo de “imágenes diana”, las que tienen valores conocidos de reflectancia (valores de albedo) para las tres bandas. Posteriormente, en trabajo de gabinete y con el software Arc Gis y aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica se marca esta diana en las imágenes para la calibración radiométrica del Data Set, generándose valores de reflectancia diferentes a los valores albedo, posibilitando la corrección en el resto de las imágenes en función de la diferencia entre los valores obtenidos y los valores albedo de las “imágenes diana”.

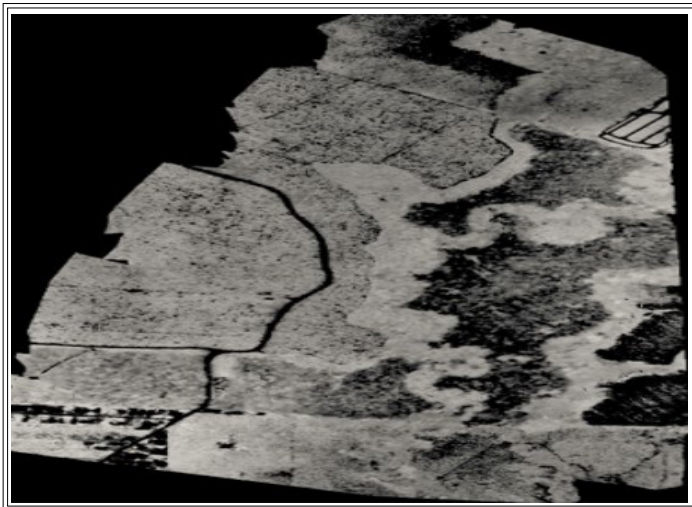
La cámara multiespectral dispone de 4 bandas espectrales, rojo, verde, azul e infrarrojo cercano.

En la figura 4.1 se visualiza el resultado de la mezcla de las tres bandas del espectro visible: rojo, verde y azul.



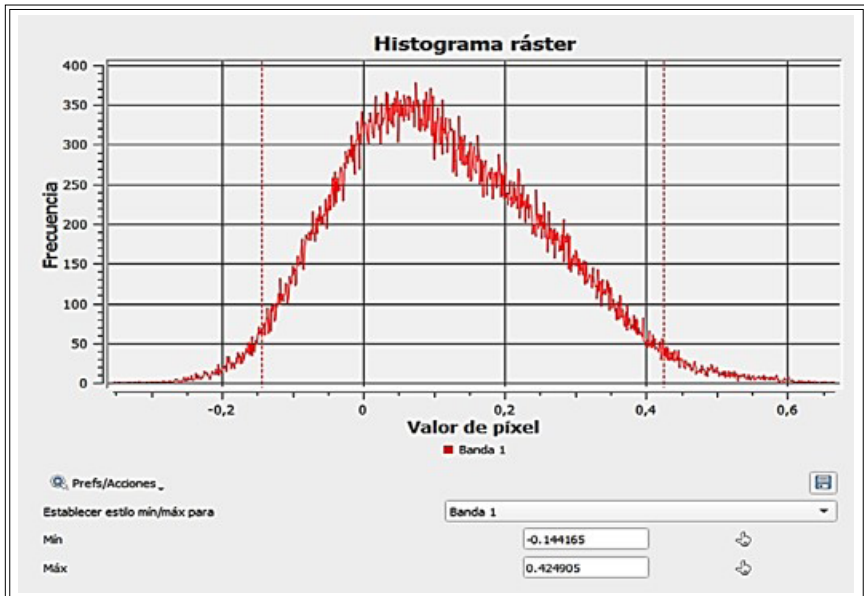
*Figura 4.1* Ortomosaico del área de estudio. Lotes 22, 23 y 19

En la figura 4.2 se muestra la imagen que resultó del proceso algebraico de la relación entre la banda del rojo y la banda del infrarrojo cercano realizado con el software de análisis de información geográfica Q-Gis para obtener el índice NDVI. El color más oscuro corresponde al área de estudio con plantación de teca. Mientras el color gris claro determina el área adyacente con plantaciones de banano.



*Figura 4.2* Imagen de análisis NDVI

Los resultados de los valores NDVI obtenidos por pixel oscilan entre -1 y 1. El siguiente histograma (figura 4.3) obtenido del software Q-Gis muestra la distribución de frecuencia por cada valor encontrado en el mapa. Se observa que la mayor cantidad de pixeles se encuentra entre los valores -0,14 a +0,42.



**Figura 4.3** Histograma de frecuencias de valores de pixel NDVI

Los valores NDVI obtenidos se clasificaron en los siguientes cuatro niveles según se detalla en la tabla 4.1:

**Tabla 4.1** Clasificación en Niveles de Vigorosidad por valor NDVI

<b>Valor NDVI</b>	<b>Nivel</b>	<b>Valoración</b>
< 0	0	Vegetación menor o nula
=> 0 < 0,2	1	Plantación bajo vigor o con árboles muertos
=> 0,2 < 0,3	2	Plantación con vigor medio
=> 0,3	3	Plantación con alto vigor

Los resultados de porcentajes de áreas por niveles de vigorosidad, obtenidos a partir de la foto aérea, para toda el área de la plantación se detallan en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Superficie en porcentaje de Niveles de Vigorosidad para el total de la Plantación obtenidos por Foto Aérea Multiespectral

<b>Lote</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>
19	10	78%	17%	5%
22	8	29%	35%	36%
23	5	84%	13%	3%

Los resultados de superficie de los niveles de vigorosidad, a partir de la fotografía aérea, en nueve parcelas de muestreo se indican en la tabla 4.3. Los valores de Nivel 0 corresponden a áreas sin vegetación al interior de la parcela de muestreo.

**Tabla 4.3** Superficie de Niveles de Vigorosidad en parcelas de muestreo

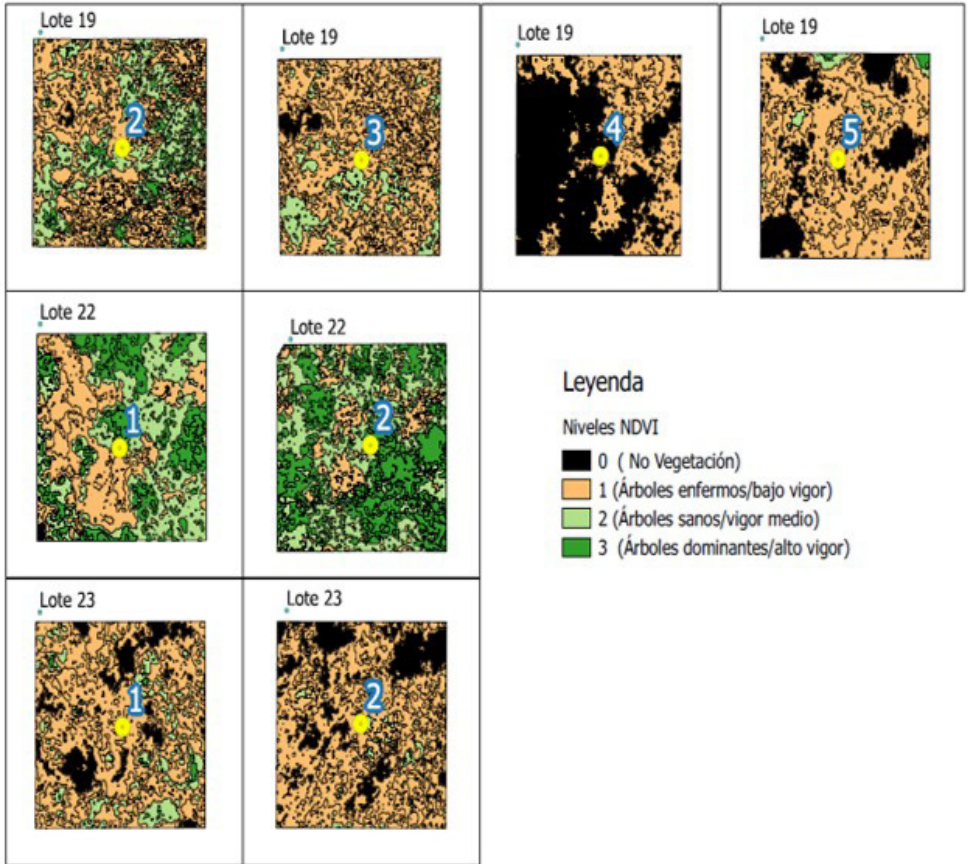
<b>Lote</b>	<b>Parcela</b>	<b>Nivel 0 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nivel 1 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nivel 2 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nivel 3 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie total parcela (m<sup>2</sup>)</b>
19	002	24	572	332	69	997
	003	37	768	189	4	998
	004	567	432	0	0	999
	005	203	766	27	6	1002
	006	393	571	30	3	997
22	001	0	167	372	462	1001
	002	4	383	353	261	1001
23	001	126	730	137	10	1003
	002	210	757	33	1	1001

Los resultados de porcentaje de los niveles de vigorosidad, obtenidos a partir de la foto aérea, en las parcelas de muestreo se indican en la tabla 4.4. Para efecto de comparación con los resultados obtenidos de las mediciones en campo no se considera el Nivel 0.

**Tabla 4.4** Porcentajes de Niveles de Vigorosidad en parcelas de muestreo

<b>Lote</b>	<b>Parcela</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>
19	2	59%	34%	7%
	3	80%	20%	0%
	4	100%	0%	0%
	5	96%	3%	1%
	6	95%	5%	0%
22	1	17%	37%	46%
	2	38%	35%	26%
23	1	83%	16%	1%
	2	96%	4%	0%

En la figura 4.4 se muestran los resultados del mapa multiespectral en el área de ocho parcelas de muestreo en los diferentes lotes; detallando los diferentes niveles de vigorosidad en porcentajes para cada parcela.



**Figura 4.4.** Mapa de Parcelas de Muestreo con Niveles de Vigoridad 0, 1,2 y 3

Los resultados de los niveles de vigoridad encontrados y graficados en el mapa para el total de la plantación se muestran en la figura 4.5

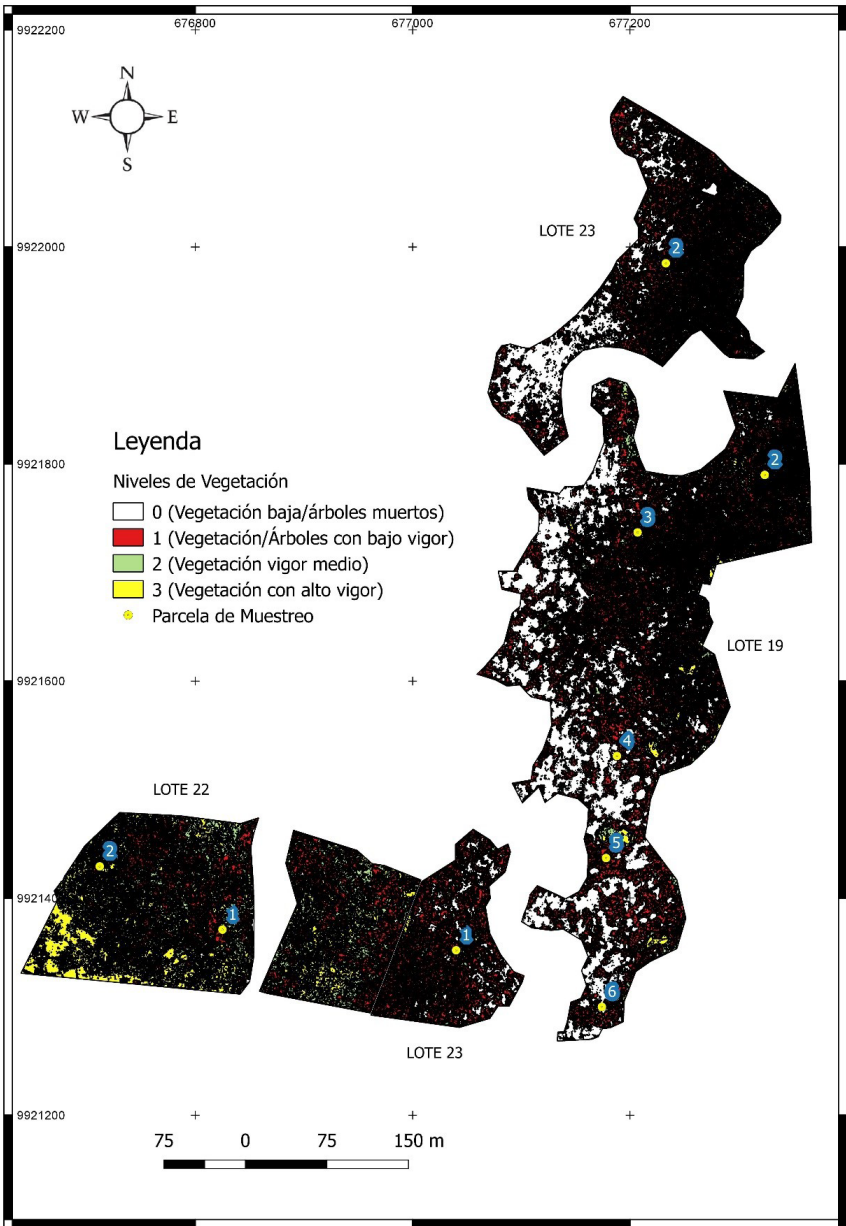


Figura 4.5. Mapa Multiespectral de la Plantación

## Resultados del inventario forestal realizado en parcelas de muestreo (mediciones directas)

El detalle de las características del estado fitosanitario y vigor de los árboles encontrados en las parcelas de monitoreo instaladas se muestran en la tabla 4.5

*Figura 4.5. Caracterización de Árboles en Parcelas de Muestreo por Niveles de Vigorosisidad*

<b>Lote</b>	<b>Parcela</b>	<b>Dap (cm)</b>	<b>Árboles en Nivel 1</b>	<b>Árboles en Nivel 2</b>	<b>Árboles en Nivel 3</b>	<b>Total árboles</b>	<b>Sup parcela (m2)</b>	<b>Arb/ha</b>
19	002	23,3	14	21	2	37	996	371
	003	26,8	14	19	6	39	998	391
	004	26,2	18	20	6	44	1000	440
	005	26,7	13	22	5	40	1003	399
	006	23,5	13	18	3	34	998	341
22	001	23,7	11	20	4	35	1001	350
	002	22,2	7	30	3	40	1002	399
23	001	15,7	6	71	4	81	1003	807
	002	15,9	1	84	3	88	1001	879

La cantidad de árboles fueron diferentes en cada parcela, lo que concuerda con que las condiciones del sitio, orografía y orientación en que se encuentren los sitios muestreados tienen influencia sobre las mediciones. Otra variable a considerar es la edad de la plantación en la cual se basa el perfil de manejo de la misma, población inicial, raleos, mortalidad, corta final. A continuación, se presenta la tabla 4.6 con los valores en porcentajes asignados por parcela a cada nivel de vigor.

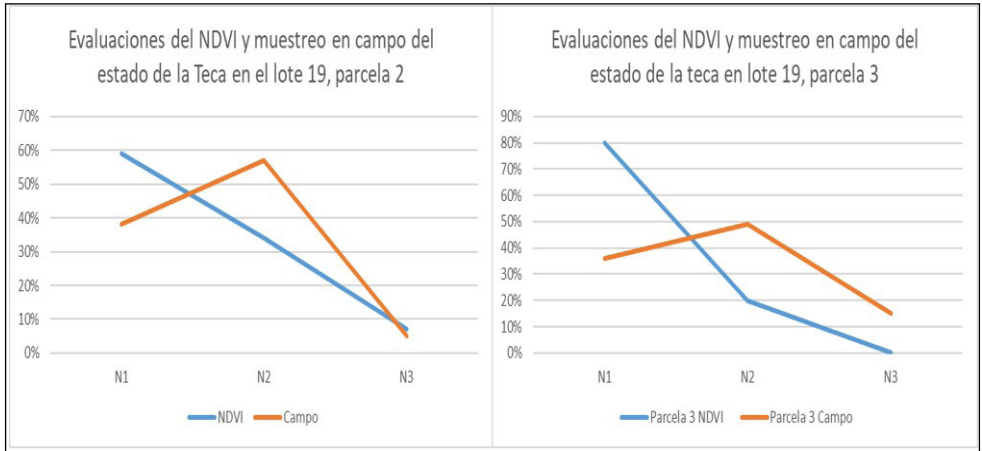
**Tabla 4.6.** Comportamiento de los Niveles de Vigorosidad en Porcentaje en base a mediciones directas en campo.

<b>Lote</b>	<b>Parcela</b>	<b>Dap (cm)</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>
19	2	23,3	38%	57%	5%
	3	26,8	36%	49%	15%
	4	26,2	41%	45%	14%
	5	26,7	33%	55%	13%
	6	23,5	38%	53%	9%
		<b>25,30</b>	<b>37%</b>	<b>52%</b>	<b>11%</b>
22	1	23,7	31%	57%	11%
	2	22,2	18%	75%	8%
		<b>22,95</b>	<b>25%</b>	<b>66%</b>	<b>10%</b>
23	1	15,7	7%	88%	5%
	2	15,9	1%	95%	3%
		<b>15,8</b>	<b>4%</b>	<b>92%</b>	<b>4%</b>

### **Análisis de la compatibilidad de las evaluaciones del estado de la masa forestal con Drones y directas**

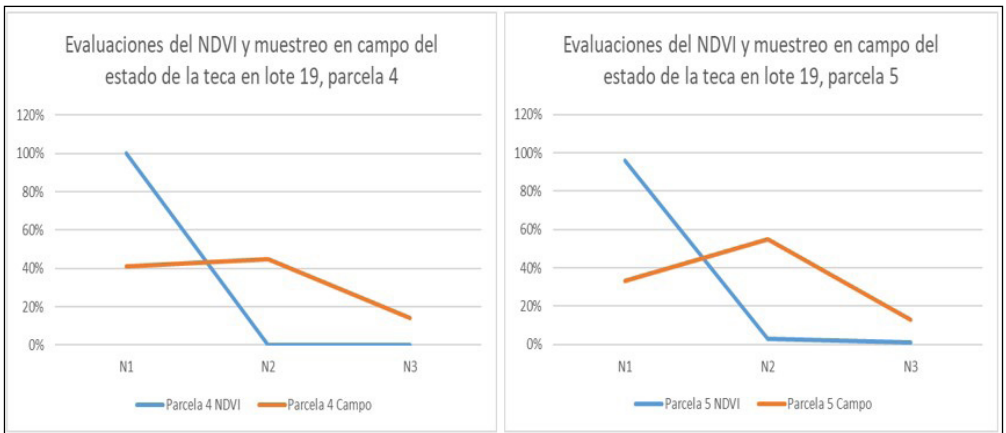
Se tomaron las observaciones realizadas en el Lote 19 que cuenta con cinco parcelas y en las que se evaluaron tres niveles del estado de la población forestal: Nivel 1 (árboles enfermos y secos); Nivel 2 (árboles sanos con crecimiento medio); y Nivel 3 (árboles sanos dominantes con crecimiento superior). Para cada parcela y en las dos condiciones de muestreo se obtuvieron gráficos de línea en los tres niveles.

En los gráficos de línea de las evaluaciones de los niveles del estado de la Teca en las parcelas 2 y 3 del lote 19, figuras 4.6 y 4.7 se evidencia una tendencia similar en las evaluaciones con el NDVI y las mediciones directas en el campo. Sólo existe un comportamiento no adecuado con el Nivel 2, figura 4.6, lo que se refleja en ambas parcelas. La medición del estado de los bosques cuenta con un alto reconocimiento, las que han sido utilizadas para monitorear los cambios ocurridos en la población forestal (Coppin y Bauer 1996; Hame et al., 1998; Fraser et al., 2005; Panigrahy et al., 2010), y la evaluación de las perturbaciones forestales, ya sean antropogénicas o naturales, las que dependen cada vez más de datos detectados a distancia (Sader et al., 2003).

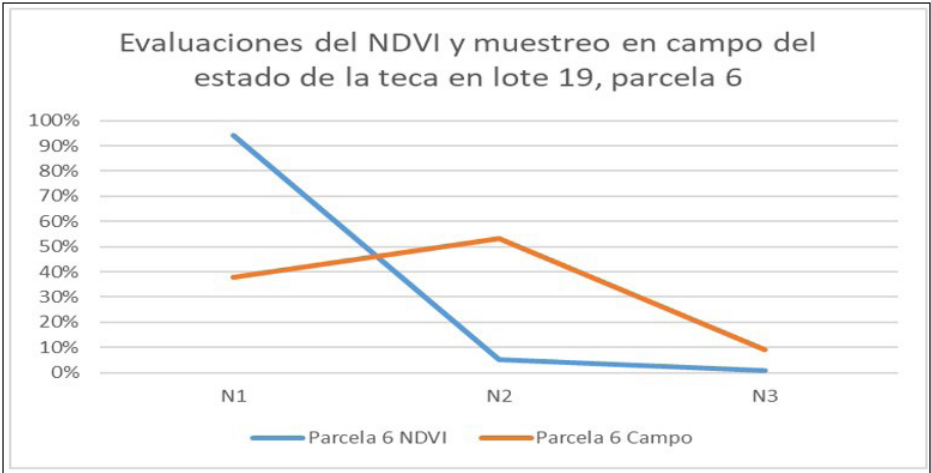


**Figura 4.6.** Evaluaciones del estado de la Teca en las parcelas 2 y 3 del lote 19 con mediciones de campo y por imágenes del NDVI.

En los gráficos de línea de las evaluaciones de los niveles del estado de la Teca en las parcelas 4 y 5 del lote 19, mostrados en la figura 4.7, se repite la circunstancia anterior, en que ambas evaluaciones tienen la misma tendencia. En la parcela 6 del lote 19, figura 4.8 la tendencia es similar a las parcelas 4 y 5.



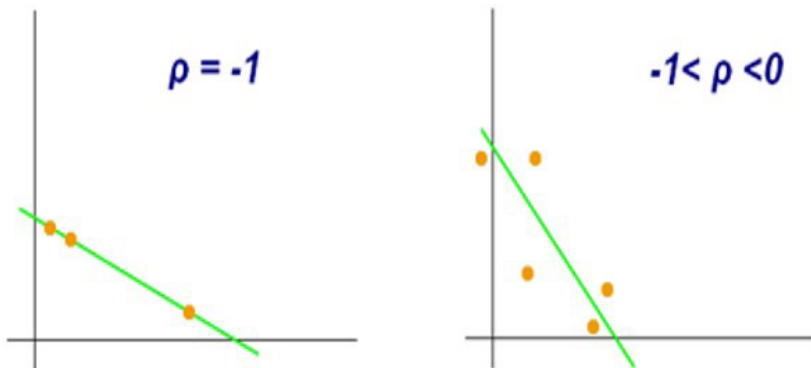
**Figura 4.7.** Evaluaciones del estado de la Teca en las parcelas 4 y 5 del lote 19 con mediciones de campo y por imágenes del NDVI.

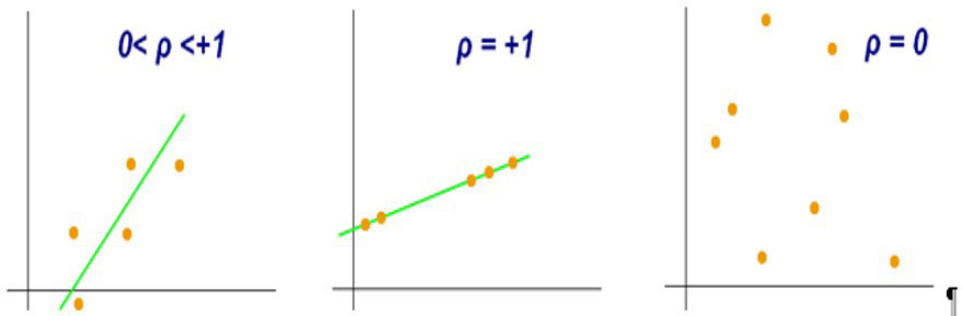


**Figura 4.8.** Evaluaciones del estado de la Teca en la parcela 6 del lote 19 con mediciones de campo y por imágenes del NDVI.

### Diagrama de Dispersión y Análisis del Coeficiente de Correlación de Pearson.

Se obtuvieron las representaciones gráficas de las relaciones entre las variables de interés: NDVI, diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal por hectárea. Se encontrará el tipo de relación que existe entre las variables involucradas de acuerdo a los tipos de correlaciones existentes mostrados en la figura 4.9.





**Figura 4.9.** *Diferentes modelos de dispersión relacionados con las correlaciones existentes.*

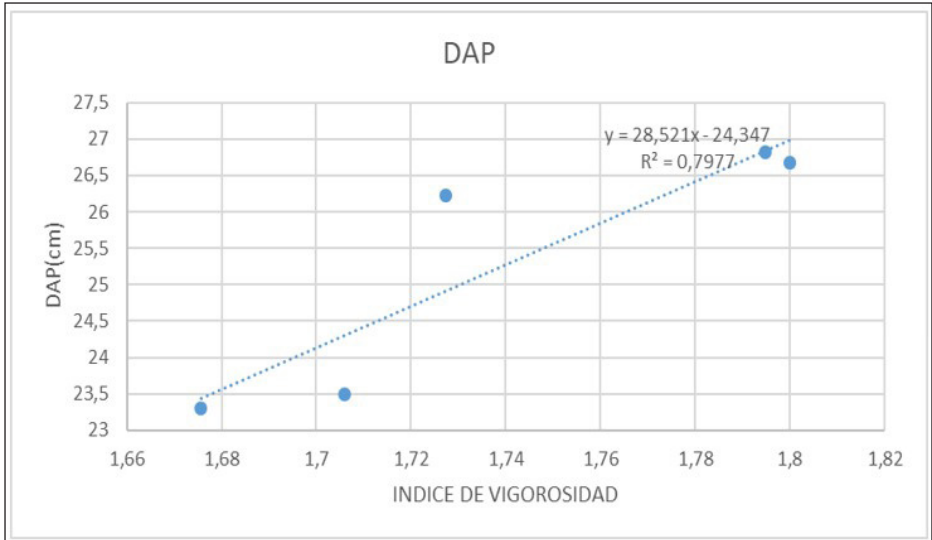
### **Diagrama de Dispersión y Análisis de Correlación entre Índice de Vigorosidad (IV) y DAP**

Se calcula la correlación existente entre el Índice de Vigorosidad propuesto y el Diámetro a la altura del Pecho (DAP), y con los diferentes niveles de vigorosidad hallados en las parcelas directamente y a través de las fotos, para medir la intensidad de las relaciones entre las variables.

Para la determinación del Diagrama de Dispersión se tomó el Lote 19 en edad de 10 años que tiene cinco parcelas, en el que se puede encontrar una mayor representación de las áreas analizadas.

Los mejores árboles encuentran valores del IV que ascienden hasta 1.8, mientras que los de menor DAP se mueven en el entorno de 1.7 (Figura 4.10)

La línea de tendencia en el diagrama resulta directamente proporcional, de manera que con el aumento del IV, aumenta el DAP de la población forestal. Esta respuesta de la plantación forestal está ligada con una alta productividad primaria neta, lo que coincide con lo reportado por algunos autores (Paruelo et al., 2000, 2004; Piñeiro et al., 2006). Por otra parte (Oliveira et al., 2016), que indica que la eficiencia en el uso del agua y el mejoramiento de las condiciones fotoquímicas arroja valores aceptables del NDVI.

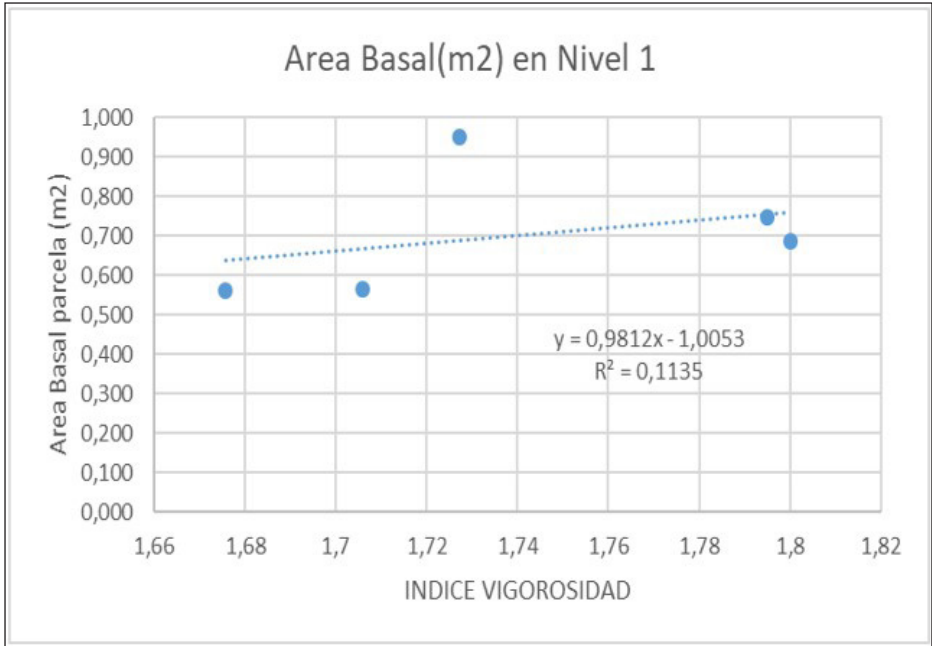


**Figura 4.10.** Diagrama de dispersión del Índice de Vigorosis (IV) y el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).

El Coeficiente de Correlación de Pearson fue de 0,89 lo que indica una buena correlación entre las variables IV y DAP.

### **Diagrama de Dispersión y Análisis de Correlación entre Índice de Vigorosis (IV) y el área basal de los árboles encontrados en Nivel 1 (árboles enfermos)**

El Diagrama de Dispersión, mostrado en la figura 4.11 entre el IV y el área basal de los árboles enfermos (Nivel 1 de vigorosis) resultó directamente proporcional, representativo de que los árboles de menor diámetro (suman menos área basal) son más susceptibles de enfermarse que los de mayor vigor. Estos resultados son similares con lo reportado por Kelly, 2002 e Ismail et al., 2006 que demuestran que las imágenes de NDVI, en comparación con otros índices de vegetación, puede evaluar mejor las afectaciones de la población forestal.



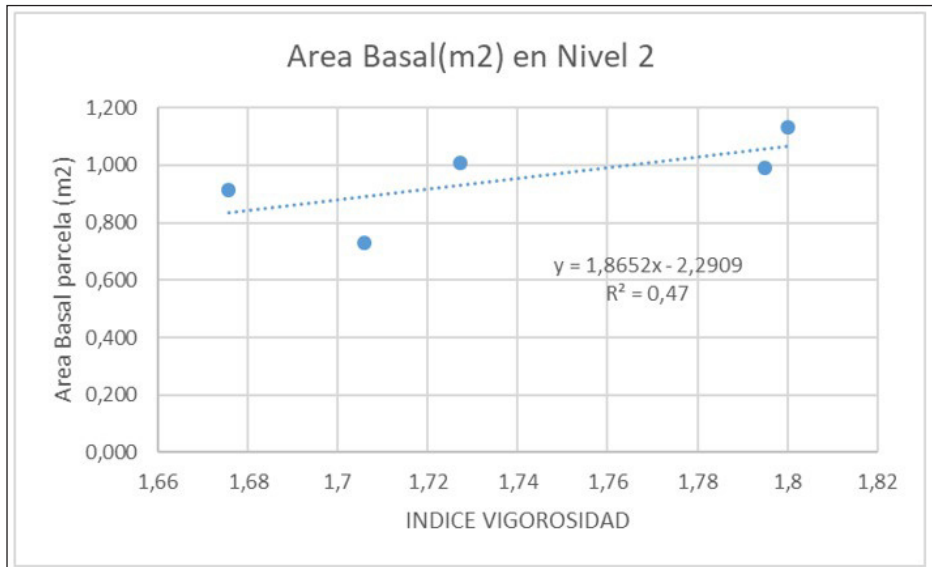
**Figura 4.11.** Diagrama de dispersión del Índice de Vigorosidad (IV) y el área basal del Nivel 1 de Vigorosidad (árboles enfermos) en parcelas.

El Coeficiente de Correlación de Pearson fue de 0,35, lo que indica una buena correlación entre las variables IV y el área basal de los árboles encontrados en el Nivel 1. Estos resultados coinciden con Thakur et al., 2017 que encontró una alta correlación entre las especies forestales con una escasa área foliar y el NDVI.

La correlación hallada se puede considerar aceptable, si se compara con el trabajo de Haghghian et al.,2020 sobre el impacto del defoliador *Tortrix viridana* en una población de robles a través de imágenes de NDVI, obteniendo un Coeficiente de Correlación de Pearson de 0.213, al que definen como aceptable para detectar la enfermedad.

## Diagrama de Dispersión y Análisis de Correlación entre Índice de Vigorosidad (IV) y el área basal de árboles clasificados en Nivel 2 (árboles con desarrollo promedio)

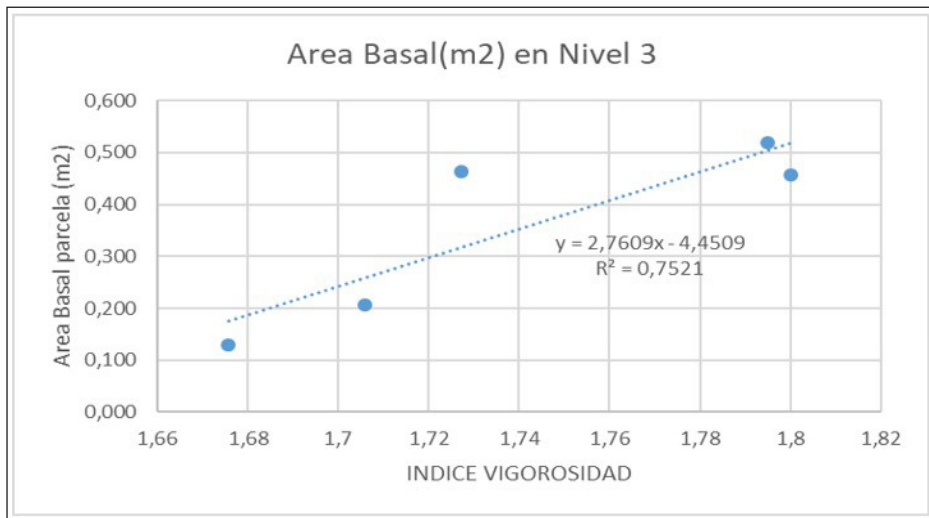
El Diagrama de Dispersión entre el IV y el área basal de los árboles del Nivel 2 de vigorosidad resultó directamente proporcional, es visible en la Figura 4.12 que el aporte es alto, con tendencia a incrementar el vigor a medida que el área basal es superior.



*Figura 4.12. Diagrama de dispersión del Índice de Vigorosidad (IV) y el Nivel 2 de Vigorosidad (árboles desarrollo moderado) en parcelas.*

## Diagrama de Dispersión y Análisis de Correlación entre Índice de Vigorosidad (IV) y el área basal del Nivel 3 (árboles con alto desarrollo)

El Diagrama de Dispersión entre el IV y el área basal de los árboles con desarrollo superior clasificados en el Nivel 3 de vigorosidad resultó directamente proporcional, y resulta visible en la Figura 4.13 el fuerte aporte del IV al número de árboles con buen desarrollo por lo pronunciado de la pendiente.



**Figura 4.13.** Diagrama de dispersión del Índice de Vigorosidad (IV) y el área basal del Nivel 3 de Vigorosidad (árboles de mayor desarrollo) en parcelas.

El Coeficiente de Correlación de Pearson fue de 0,87, lo que indica una alta correlación entre las variables IV y el Nivel 3 de vigorosidad, compatible con los resultados del Diagrama de Dispersión. Este resultado está de acuerdo en que un alto nivel de vigorosidad es determinante para que en la plantación forestal exista un número alto de árboles con gran desarrollo.



# **CAPÍTULO V.**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 CONCLUSIONES

1. Los niveles de vigorosidad detectados por las imágenes del NDVI en cada parcela fueron diferentes y fluctuaron en los siguientes rangos: 59-100 para el N1 (árboles enfermos/bajo vigor); 0.087-34 para el N2 (árboles sanos/vigor medio); y 0.454-7 para el N3 (árboles dominantes/alto vigor).
2. Los diagramas de dispersión encontrados para cada uno de los niveles son adecuados. Inversamente proporcional para el Nivel 1; directamente proporcional para el Nivel 2 con tendencia a la constancia; y directamente proporcional para el Nivel 3, con pendiente elevada.
3. Se encontró correlaciones de Pearson adecuadas entre el Índice de Vigorosidad (IV) y los diferentes niveles de vigor para la teca: 0.695044 en  $r(\text{IV}, \text{N1})$ ; 0.249506 en  $r(\text{IV}, \text{N2})$ ; 0.828946 en  $r(\text{IV}, \text{N3})$ , correlaciones que se corresponden con los diagramas de dispersión obtenidos para cada uno de los niveles.
4. Se obtuvieron los mapas multiespectrales con los índices de vegetación NDVI para las diferentes parcelas, identificándose los diferentes estados en que aparecían los árboles en cada parcela.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Realizar evaluaciones de NDVI para otras especies forestales de interés comercial que eleven la calidad de la gestión y control del inventario forestal.
2. Aplicar otros índices de vegetación y comparar la efectividad de su aplicación para poder optar por el más efectivo.
3. Realizar un estudio cronológico que permita evaluar la efectividad de la aplicación de los índices de vegetación para determinar crecimiento, desarrollo y rendimiento de las poblaciones forestales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álava, S (2020). Actualidad. ¿Qué diferencia una imagen multiespectral de una hiperespectral? Consultado en línea y disponible en <http://www.grupoalava.com/ingenieros/actualidad/que-diferencia-unaimagen-multiespectral-de-una-hiperespectral/>
- Arguedas, M. 2006. Diagnóstico de Plagas y Enfermedades en Costa Rica. II Congreso Latinoamericano IUFRO. La Serena, Chile. 10p.
- Asamblea Nacional, 2008. Constitución de la República del Ecuador. Autor Corporativo. Montecristi, Ecuador.
- Baylis, M., Bouayoune, H., Toute, J., El Hasnaoui, H. (1998). Use of climatic data and satellite imagery to model the abundance of *Culicoides imicola*, the vector of African horse sickness virus, in Morocco. *Medical and Veterinary Entomology* 12: 255-266.
- Coppin PR, Bauer ME (1996) Digital change detection in forest ecosystems with remotely sensed imagery. *Remote Sens Rev* 13:207–234.
- Díaz, J. 2015. Estudio de Índices de Vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. Trabajo de Fin de Máster. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 77p.
- Ferreira J, Herrera R, Labidi J, Esteves B, Domingos I (2018). Energy and environmental profile comparison of TMT production from two different companies a Spanish/Portuguese case study. *iForest* 11: 155-161. – doi: 10.3832/ifor2339-010 [online 2018- 02-07].

- Flores, T; Crespo, R; Cabezas, F. 2010. Plagas y Enfermedades en Plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.F) en la Zona de Balzar, Provincia del Guayas. Artículo Científico. Revista Ciencia y Tecnología. Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Quevedo, Ecuador. Pp. 15-22.
- Fraser RH, Abuelgasim A, Latifovic R (2005) A method for detecting large-scale forest cover change using coarse spatial resolution imagery. *Remote Sens Environ* 95:414–427.
- Gonzaga, C. 2014. Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia de Loja, Ecuador. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. 108p.
- Groten, S. (1993). NDVI- crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *International Journal of Remote Sensing* 14 (8): 1495-1515.
- Haghighian, F, Yousefi, S., & Keesstra, S. (2020). Identifying tree health using Sentinel-2 images: a case study on Tortrix viridana L. infected Oak trees in Western Iran. *Geocarto International*, 1–17. doi:10.1080/10106049.2020.1716397.
- Hame T, Heller I, Miguel-Ayanz JS (1998) An unsupervised change detection and recognition system for forestry. *Int J Remote Sens* 19:1079–1099.
- Hess, W., Stephens, W., Thomas, G. (1996). Modelling NDVI for decadal rainfall data in the North East Arid Zone of Nigeria. *Journal of Environmental Management* 48: 249-261.
- Ismail R, Mutanga O, Bob U. 2006. The use of high resolution airborne imagery for the detection of forest canopy damage caused by *Sirex noctilio*. [place unknown]. Available from: <http://src.fabinet.up.ac.za/sirexweb/sirexlit/Ismailetal2006.pdf>.

- Jame, M., Kallury, S. (1994). The pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *International Journal of Remote Sensing* 15 (17): 3347-3363.
- Jiménez, J. 2009. Determinación del estado hídrico de la vegetación mediante teledetección basada en vehículos aéreos no tripulados. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba, Argentina. 135p.
- Jobbágy, E., Sala, O., Paruelo, J. (2002). Patterns and control of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology* 83: 307-319.
- Kelly NM. 2002. Monitoring Sudden Oak Death in California Using High-resolution Imagery. [place unknown]. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184, 799-810.
- Kharuff, S; Hernández, L; Orozco, R; Aday, O; Delgado, I; 2018. Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. Artículo Científico. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones. La Habana, Cuba.* Pp. 79-91.
- Knapp, A., Smith, M. (2001). Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science* 291: 481-484.
- Muñoz, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Ministerio de Agricultura. Chile. Consultado en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indic%C3%B3n%20de%20vegetaci%C3%B3n%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Oliveira, P. E. ; Cunha, A. G. ; Reyes, G. ; Gacitúa, W. ; Petit-Breuilh, X., 2016. Chusquea quila, a natural resource from Chile: its chemical, physical, and nanomechanical properties. *BioResources*, 11 (4): 10057-10069.
- Panigrahy RK, Kale MP, Dutta U, Mishra A, Banerjee B, Singh S (2010) Forest cover change detection of Western Ghats of Maharashtra using satellite remote sensing based visual interpretation technique. *Curr Sci* 98:657–664.
- Paruelo, J., Golluscio, R., Guershman, J., Cesa, A., Jouve, V., Garbulsky, M. (2004). Relation scale relationships between ecosystem structure and functioning. The case of the Patagonian steps. *Global Ecology and Biogeography* 13: 385-395.
- Paruelo, J., Oestetheld, M., Di Bella, C., Arzadium, M., Lafontaine, J., Cahuepé, M., Rebella, X. (2000). Estimation of primary production of subhumid rangelands form remote sensing data. *Applied Vegetation Science* 3: 189-195.
- Piñeiro, G., Osterheld, M., Paruelo, J. (2006). Seasonal variation in above ground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* 9: 357-373.
- Ponvert, D; Lau, A. 2013. Uso de las imágenes de Satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola. Artículo Científico. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Universidad Agraria de La Habana (UNAH). Las Lajas, Cuba. Pp. 75-80.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P; 1997. *Mensura Forestal*. Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 586 p.

- Robinson, T. (1991). Modelling the seasonal distribution of habitat suitability for armyworm population development in East Africa using GIS and remote sensing techniques. Ph.D. Thesis. University of Reading.
- Sánchez, L; Marcos, R; Herrero, E; Hernández, S; Carrión, P; 2016. Aplicación de tecnologías de detección al estudio de biomasa forestal. Artículo Científico. Revista Ibérica de Sistemas de Tecnologías de Información. Río Tinto, Portugal. Pp.61-76.
- Sader SA, Bertrand M, Wilson EH (2003) Satellite change detection of forest harvest patterns on an Industrial forest landscape. For Sci 49:341–353.
- Schnell, G; Chiarello, S; Rodríguez, L; Reis, W; Tadeu, E; 2016. A review of the introduced forest pests in Brazil. Artículo Científico. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Brasilia, Brasil. Pp 397-406.
- Telles, A; Nájera, J; Alanís, E; Aguirre, O; Jiménez, J; Gómez, M; Muñoz, H. 2017. Propiedades físico mecánicas de la madera de *Tectona grandis* L.f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. Artículo Científico. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. México D.F, México. Pp 37-56.
- Thakur, T., Swamy, S., Bijalwan, A., Dobriyal, M. (2018). Assessment of biomass and net primary productivity of a dry tropical forest using geospatial technology. Journal Forest Research. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0607-8>. The online version is available at <http://www.springerlink.com>.
- Thomson, M., Connor, S. (2000). Environmental information systems for the control of arthropod vectors of disease. Medical and Veterinary Entomology 14: 227-244.

- Tratalos, J. and Cheke, R. (2006). Can NDVI GAC imagery be used to monitor desert locust breeding areas? *Journal of Arid Environments* 64: 342–356.
- Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8, 127.
- Ugalde, L. 2013. Teak: Trends in Silviculture, Commercialization and Wood Utilization. *International Forestry and Agroforestry*. Cartago, Costa Rica. 552p.

## ANEXOS

Registro de medición de árboles individuales lote 19.

Lote	Fecha de Medición	Edad en Años	Parcela	Árbol	DAP (cm)	Altura Total (m)	Código de Sanidad
19	26/06/20	9,2	002	1	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	2		28,9 21,8	
19	26/06/20	9,2	002	3		24,2 19,5	
19	26/06/20	9,2	002	4	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	5	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	6		14,5 -	PV-2
19	26/06/20	9,2	002	7	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	8		18,8 -	PV-2
19	26/06/20	9,2	002	9	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	10	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	11		24,8 20,3	
19	26/06/20	9,2	002	12	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	13	muerto	-	PV-3
19	26/06/20	9,2	002	14	muerto	-	PV-3
19	26/06/20	9,2	002	15	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	16	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	17		22,5 19,1	
19	26/06/20	9,2	002	18	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	19		24,3 -	PV-2
19	26/06/20	9,2	002	20	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	21	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	22		22,5 20,1	
19	26/06/20	9,2	002	23	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	24	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	25	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	26		19,7 -	
19	26/06/20	9,2	002	27	muerto	-	PV-3
19	26/06/20	9,2	002	28	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	29		26,9 -	
19	26/06/20	9,2	002	30	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	31	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	32		26,1 -	
19	26/06/20	9,2	002	33		20,8 -	
19	26/06/20	9,2	002	34	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	35		25,4 -	
19	26/06/20	9,2	002	36	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	37		27,2 -	
19	26/06/20	9,2	002	38	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	39	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	40	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	41		19,3 -	
19	26/06/20	9,2	002	42	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	002	43		21 -	
19	26/06/20	9,2	002	44		26,8 -	
19	26/06/20	9,2	002	45	s/m	s/m	

Lote	Fecha de Medición	Edad en Años	Parcela	Árbol	DAP (cm)	Altura Total (m)	Código de Sanidad
19	26/06/20	9,2	002	46		25,8	-
19	26/06/20	9,2	002	47	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	48		24,9	-
19	26/06/20	9,2	002	49		22,7	-
19	26/06/20	9,2	002	50		24,3	-
19	26/06/20	9,2	002	51		21,7	-
19	26/06/20	9,2	002	52	muerto		-
19	26/06/20	9,2	002	53	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	54		27,6	-
19	26/06/20	9,2	002	55		18,7	-
19	26/06/20	9,2	002	56	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	57	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	58		20,1	-
19	26/06/20	9,2	002	59		24,6	-
19	26/06/20	9,2	002	60		22,6	-
19	26/06/20	9,2	002	61	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	62	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	63	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	64	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	65	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	66		26,8	23,1
19	26/06/20	9,2	002	67		22,1	20,9
19	26/06/20	9,2	002	68		28,5	23,9
19	26/06/20	9,2	002	69	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	70		23,8	23,1
19	26/06/20	9,2	002	71	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	72	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	73		22,4	-
19	26/06/20	9,2	002	74	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	75	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	76		18,7	-
19	26/06/20	9,2	002	77	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	78	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	002	79	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	1	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	2	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	3	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	4		29,5	23,1
19	26/06/20	9,2	003	5	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	6	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	7		23,3	20,6
19	26/06/20	9,2	003	8	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	9		27,2	-
19	26/06/20	9,2	003	10	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	11	s/m		s/m

Lote	Fecha de Medición	Edad en Años	Parcela	Árbol	DAP (cm)	Altura Total (m)	Código de Sanidad
19	26/06/20	9,2	003	12		18,9	20,7
19	26/06/20	9,2	003	13	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	14	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	15		32,1	23,9
19	26/06/20	9,2	003	16		21,8	—
19	26/06/20	9,2	003	17	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	18	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	19	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	20		35,5	25,6
19	26/06/20	9,2	003	21	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	22	muerto		—
19	26/06/20	9,2	003	23	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	24	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	25	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	26	muerto		—
19	26/06/20	9,2	003	27	muerto		—
19	26/06/20	9,2	003	28	muerto		—
19	26/06/20	9,2	003	29	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	30		27,4	22,6
19	26/06/20	9,2	003	31	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	32	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	33	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	34		29,5	—
19	26/06/20	9,2	003	35	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	36		26	—
19	26/06/20	9,2	003	37	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	38		35,1	—
19	26/06/20	9,2	003	39	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	40	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	41	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	42		31,8	—
19	26/06/20	9,2	003	43		22,8	—
19	26/06/20	9,2	003	44	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	45		21,7	21
19	26/06/20	9,2	003	46		22	—
19	26/06/20	9,2	003	47	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	48		25,1	—
19	26/06/20	9,2	003	49	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	50		29	—
19	26/06/20	9,2	003	51	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	52		32	23,9
19	26/06/20	9,2	003	53	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	54	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	55	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	56		22,9	—

Lote	Fecha de Medición	Edad en Años	Parcela	Árbol	DAP (cm)	Altura Total (m)	Código de Sanidad
19	26/06/20	9,2	003	57		26,3	
19	26/06/20	9,2	003	58	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	59		21,3	CA-2
19	26/06/20	9,2	003	60	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	61	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	62		24,7	22,8
19	26/06/20	9,2	003	63	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	64		29,7	22
19	26/06/20	9,2	003	65		35,3	CA-2
19	26/06/20	9,2	003	66	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	67		27,4	
19	26/06/20	9,2	003	68	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	69	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	70		32,4	
19	26/06/20	9,2	003	71		30,2	PV-1
19	26/06/20	9,2	003	72		22,8	
19	26/06/20	9,2	003	73	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	74	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	75	muerto		PV-3
19	26/06/20	9,2	003	76	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	77		29	
19	26/06/20	9,2	003	78	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	79	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	80	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	81	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	82	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	83	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	003	84		26,8	PV-1
19	26/06/20	9,2	003	85		17,8	PV-2
19	26/06/20	9,2	003	86		24,6	PV-1
19	26/06/20	9,2	003	87		25,6	PV-2
19	26/06/20	9,2	003	88		24,3	
19	26/06/20	9,2	004	1	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	004	2	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	004	3	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	004	4	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	004	5		23,4	24
19	26/06/20	9,2	004	6	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	004	7		28,8	22,9
19	26/06/20	9,2	004	8	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	004	9		33,8	22,9
19	26/06/20	9,2	004	10		26,5	22,4
19	26/06/20	9,2	004	11	s/m		s/m
19	26/06/20	9,2	004	12		25,5	21,5
19	26/06/20	9,2	004	13	s/m		s/m

Lote	Fecha de Medición	Edad en Años	Parcela	Árbol	DAP (cm)	Altura Total (m)	Código de Sanidad
19	26/06/20	9,2	004	14		29,8	
19	26/06/20	9,2	004	15		29,7	
19	26/06/20	9,2	004	16	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	17	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	18		23,3	
19	26/06/20	9,2	004	19		23,4	PV-2
19	26/06/20	9,2	004	20		26,4	23,5
19	26/06/20	9,2	004	21	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	22	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	23		21,5	PV-2
19	26/06/20	9,2	004	24	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	25	muerto	-	PV-3
19	26/06/20	9,2	004	26		30,2	23
19	26/06/20	9,2	004	27		17,9	PV-2
19	26/06/20	9,2	004	28	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	29	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	30		31,6	
19	26/06/20	9,2	004	31	muerto	-	PV-3
19	26/06/20	9,2	004	32	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	33	muerto	-	PV-3
19	26/06/20	9,2	004	34	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	35		31,3	
19	26/06/20	9,2	004	36	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	37	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	38		20,8	
19	26/06/20	9,2	004	39	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	40	muerto	-	PV-3
19	26/06/20	9,2	004	41		22,1	PV-2
19	26/06/20	9,2	004	42	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	43		17,5	
19	26/06/20	9,2	004	44	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	45	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	46		28,9	
19	26/06/20	9,2	004	47	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	48	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	49	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	50		25	
19	26/06/20	9,2	004	51		18,6	20,3
19	26/06/20	9,2	004	52		25	22
19	26/06/20	9,2	004	53	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	54	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	55		19,8	
19	26/06/20	9,2	004	56	s/m	s/m	
19	26/06/20	9,2	004	57		28	
19	26/06/20	9,2	004	58	s/m	s/m	



*Dr. EDUARDO DÍAZ OCAMPO, Ph.D.*  
**RECTOR**

*Ing. YENNY GUISELLI TORRES NAVARRETE, Ph.D.*  
**VICERRECTORA ACADÉMICA**

*Ing. BOLÍVAR ROBERTO PICO SALTOS, M.Sc.*  
**VICERRECTOR ADMINISTRATIVO**

*Econ. CARLOS EDISON ZAMBRANO, Ph.D.*  
**DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN - DICYT**

---

ISBN: 978-9978-371-42-8



9 789978 371428

