

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Diagnóstico sanitario de robledales (*Quercus humboldtii* Bonpl.) empleando técnicas de laboratorio y teledetección en García Rovira.

Lidys Xiomara Alvarado Tarazona y Yeferson Arley Correa Delgado

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingenieros Forestales

Directora

Sandra Milena Diaz López

MSc. Manejo Uso y conservación del Bosque

Codirectora

Doris Duarte Hernández

MSc. Manejo Uso y conservación del Bosque

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

*Quiero dedicar este logro a mi Padre Luis Jesús Alvarado Delgado que con mucho esfuerzo, amor y dedicación hoy celebra conmigo este triunfo. Quien día a día trabajo por apoyarme a cumplir este sueño. Mi padre, mi primer amor y mi héroe, de quien he recibido los abrazos y los mimos más sinceros, quien me ha enseñado que a pesar de las dificultades tengo que ser fuerte, que las cosas se ganan con disciplina y dedicación.*

*Lidys Xiomara Alvarado Tarazona*

**Dedicatoria**

*Esta tesis se la dedico al campo, ya que ha sido mi fuente de sustento durante toda mi vida, y a todos los campesinos que día a día se esmeran por abastecer la despensa familiar de millones de personas a nivel mundial, recalcando así la labor de mi padre y de mi hermano mayor quienes con su trabajo han hecho lo posible para que llegue hasta este punto, demostrando así que el esfuerzo y la disciplina son factores fundamentales sin importar la procedencia y llevando un mensaje a todos los campesinos de que se vale soñar y de que todos los sueños se cumplen si ponemos de nuestro empeño y dedicación.*

*Yeferson Arley Correa Delgado.*

### **Agradecimientos**

Quiero agradecer primeramente al Dios todo poderoso que me dio las fuerzas, la sabiduría y la capacidad de culminar esta etapa en mi vida.

A mí madre Nubia Esperanza Tarazona Jaimés y a mi padre Luis Jesús Alvarado Delgado quiero agradecerles por sus esfuerzos, por brindarme de su apoyo incondicional, por sus consejos, por guiarme y hacerme la persona que soy, gracias a ustedes he aprendido a no rendirme y a perseverar hasta el final.

A mi hermano mayor Brayan Fernel Tarazona Jaimés quien me inspiró a seguir este camino, y a quien admiro mucho.

A mis hermanos menores Nicolás Darío Alvarado Tarazona y Jesús Daniel Alvarado Tarazona por qué acompañaron y cuidaron de mis padres en mi ausencia.

A mis abuelos Israel Tarazona e Isolina Jaimés les agradezco por sus oraciones.

A mis tíos Carlos Hernando Tarazona, Israel Tarazona y Fredy Tarazona por aportar su granito de arena

A Ángel Jhoel Hernández Nontoa mi compañero de vida por brindarme su amor incondicional y compañía.

A Yeferson Correa un gran compañero y amigo a quien agradezco por llegar a mi vida e involucrarse conmigo en este recorrido por la universidad y la vida.

A nuestras directoras Sandra Díaz, Doris Hernández y Angelica Marcela Correa por vincularse en esta aventura y travesía.

Gracias a todos por qué me impulsaron a ser la versión mejor de mí.

**Lidys Xiomara Alvarado Tarazona**

### **Agradecimientos**

La vida de los seres humanos está dividida en diferentes etapas que deben ser vividas de la mejor manera posible, cuando una de las que llamamos "buenas etapas" culmina nos sentimos emotivos y agradecemos a todas las personas que nos apoyaron durante dicho proceso por brindarnos determinación, apoyo y solidez, esta etapa denominada "pregrado" termina para mí, por ende, quiero dar las gracias a todas y cada una de las personas que se hicieron presentes.

¡Gracias! Dios por permitirme llegar a dónde estoy ahora.

¡Gracias! A mi madre Claudia Patricia Delgado Rojas por darme la vida y guiarme en la etapa temprana de mi vida.

¡Gracias! A mi padre Nelson Ramiro Correa Olivos por enseñarme valores y a ser una persona fuerte y centrada.

¡Gracias! A mis hermanos que más que una presencia sanguínea son una fuente de inspiración para salir adelante.

¡Gracias! A mis amigos por el apoyo incondicional que me brindaron durante este proceso.

¡Gracias! A mi compañera de carrera, Lidys Xiomara Alvarado Tarazona quién más que una compañera de estudio la considero una hermana que la vida me dio que me orientó en muchas ocasiones y no me dejó solo en ningún momento de este proceso.

¡Gracias! A mis directoras de tesis Sandra milena Díaz López, Doris Duarte Hernández y Angelica Marcela Correa, por guiarme en este proceso, por su compromiso con la educación y por su transmisión de saberes y valores.

**Yeferson Arley Correa Delgado.**

**Tabla de contenido**

Introducción	18
1.Objetivos	21
1.1.Objetivo general	21
1.2.Objetivos específicos	21
2.Marco referencial	22
2.1.Marco teórico	22
2.1.1.Quercus humboldtii Bonpl.	23
2.1.2.Bosques de roble	23
2.1.3.Enfermedades asociadas a los robles	23
2.1.6.Teledetección	24
2.1.7.Imágenes multiespectrales	25
2.1.8.Índice de vegetación	25
3.Metodología	25
3.1.Área de estudio	26
3.2.Fase de campo	27
3.3.Fase de laboratorio	30
3.3.1.Adecuación de materiales y área de trabajo	31
3.3.3.Identificación de hongos patógenos	33

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE <i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	7
3.3.4.Caracterización de macro hongos.	34
3.4.Evaluación de patrones espectrales.	35
3.4.1.Adquisición de imágenes satelitales	35
3.4.2.Procesamiento de imágenes	36
3.4.3.Corroboración de datos	37
4.Análisis estadístico	38
5.Resultados	39
5.1.Evaluación Sanitaria	39
5.2.Identificación de hongos microscópicos	43
5.2.1.Descripción macroscópica de Fusarium spp.	45
5.2.2.Descripción microscópica de Fusarium spp	45
5.2.3.Descripción macroscópica de Mucor spp	46
5.2.4.Descripción microscópica de Mucor spp	47
5.2.5.Descripción macroscópica de Trichoderma spp.	47
5.2.6.Descripción microscópica de Trichoderma spp	48
5.2.7.Descripción macroscópica de Botrytis spp.	49
5.2.8.Descripción microscópica de Botrytis spp	49
5.2.9.Descripción macroscópica de Saccharomyces spp	50
5.2.10.Descripción microscópica de Saccharomyces spp	50
Discusión	68

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE <i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	8
Conclusiones	74
Recomendaciones	74
Referencias bibliográficas	76
Apéndices	82

### Lista de Tablas

Tabla 1. Cantidad de tejido óptimo para la fase de laboratorio. ....	29
Tabla 2. Ficha técnica del Agar de Malta. ....	32
Tabla 3. Descripción de las características macro y microscópicas de los hongos. ....	34
Tabla 4. Características del sensor a bordo del satélite Planet Scope. ....	35
Tabla 5. Índices espectrales importantes en la caracterización de los bosques. ....	37
Tabla 6. Características macroscópicas presentes en los cultivos del género <i>Fusarium</i> spp .....	45
Tabla 7. Crecimiento micelial y microscopia de <i>Fusarium</i> spp.....	46
Tabla 8. Características macroscópicas presentes en los cultivos del género <i>Mucor</i> spp.....	46
Tabla 9. Crecimiento micelial y microscopia de <i>Mucor</i> spp .....	47
Tabla 10. Características macroscópicas presentes en los cultivos del género <i>Trichoderma</i> spp ..	48
Tabla 11. Crecimiento micelial y microscopia de <i>Trichoderma</i> spp.....	48
Tabla 12. Características macroscópicas presentes en los cultivos del género <i>Botrytis</i> spp .....	49
Tabla 13. Crecimiento micelial y microscopia de <i>Botrytis</i> spp.....	50
Tabla 14. Características macroscópicas presentes en los cultivos del género <i>Saccharomyces</i> spp .....	50
Tabla 15. Crecimiento y microscopia de <i>Saccharomyces</i> spp.....	51
Tabla 16. Número de aislamientos exitosos por área de estudio. ....	51
Tabla 17. Listado de filo, ordenes, familias y especies de macrohongos encontrados en Molagavita.....	52
Tabla 18. Listado de filo, ordenes, familias y especies de macrohongos encontrados en Carcasí. .....	53

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Tabla 19. Listado de filo, ordenes, familias y especies de macrohongos encontrados en Concepción.....	55
Tabla 20. Índices de vegetación modificados para el estudio.....	57
Tabla 21. Valores de correlación de Pearson para las áreas de estudio. ....	61
Tabla 22. Estadísticas de Índices de vegetación, Molagavita. ....	62
Tabla 23. Matriz Kappa índice NDVI, Molagavita. ....	62
Tabla 24. Matriz Kappa índice NDRE, Molagavita. ....	63
Tabla 25. Estadísticas de Índices de vegetación, Carcasí. ....	63
Tabla 26. Matriz Kappa índice NDVI, Carcasí. ....	64
Tabla 27. Matriz Kappa NDRE, Carcasí.....	65
Tabla 28. Estadísticas de Índices de vegetación, Concepción.....	66
Tabla 29. Matriz Kappa NDVI, Concepción. ....	66
Tabla 30. Matriz Kappa NDRE, Concepción. ....	67

**Lista de figuras**

Figura 1. Mapa área de estudio .....	26
Figura 2. Metodología fase de campo .....	27
Figura 3. Metodología fase de laboratorio .....	30
Figura 4. Siembra por punción.....	33
Figura 5. Metodología para la evaluación de los patrones espectrales .....	35
Figura 6. Presencia en porcentaje de individuos con signos y síntomas por parcelas en el municipio de Molagavita, Santander.....	40
Figura 7. Presencia en porcentaje de individuos con signos y síntomas por parcelas en el municipio Carcasí, Santander. ....	41
Figura 8. Presencia en porcentaje de individuos con signos y síntomas por parcelas en el municipio de Concepción, Santander. ....	42
Figura 9. Porcentaje de afección de la copa y el fuste por parcelas para las áreas de estudio.....	43
Figura 10. Presencia de hongos por estrato para cada una de las áreas de estudio .....	44
Figura 11. Número de familias por orden y número de especies por familia registrados en el municipio de Molagavita.....	53
Figura 12. Número de familias por orden y número de especies por familia registrados en el municipio de Carcasí. ....	54
Figura 13. Número de familias por orden y número de especies por familia registrados en el municipio de Concepción.....	55
Figura 14. Porcentaje de especies según su uso.....	56

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Figura 15. Imagen satelital combinación RGB 864, Ortomosaico e índices de vegetación, Molagavita.....	58
Figura 16. Imagen satelital combinación RGB 864, Ortomosaico e índices de vegetación, Carcasí.....	59
Figura 17. Imagen satelital combinación RGB 864, Ortomosaico e índices de vegetación, Concepción.....	60
Figura 18. Diagrama de cajas y bigotes de los índices NDVI y NDRE para cada una de las áreas de estudio.....	68

### **Lista de apéndices**

Apéndice A. Formato Evaluación de signos y síntomas de <i>Quercus humboldtii</i> Bonpl. ....	82
Apéndice B. Evaluación de signos y síntomas .....	83
Apéndice C. Recolección de macrohongos.....	84
Apéndice D. Recolección de muestras con signos y síntomas. ....	85
Apéndice E. Fase de laboratorio.....	86
Apéndice F. Captura de imágenes con UAVs. ....	88

## Glosario

**Agente patógeno:** son agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades a su huésped. Este término se emplea normalmente para describir microorganismos como los virus, bacterias y hongos, entre otros. Estos agentes pueden perturbar la fisiología normal de plantas, animales y humanos.

**Cancro:** enfermedad en la que células anómalas se dividen sin control y destruyen los tejidos de la planta.

**Clorosis:** amarillamiento de los tejidos normalmente verdes, debido a la destrucción de la clorofila o a la imposibilidad de sintetizarla.

**Cuerpo fructífero:** en los hongos, estructura que se desarrolla en el momento de la reproducción, y que en algunos hongos forma las típicas setas.

**Enfermedad:** alteración leve o grave del funcionamiento normal de un organismo o de alguna de sus partes debida a una causa interna o externa.

**Fitopatología:** es el estudio de las enfermedades de las plantas. Comprende la investigación de agentes infecciosos (hongos, virus, bacterias, nematodos) y condiciones ambientales adversas (temperatura, luz, pH, agua, nutrientes del suelo) que ocasionan enfermedades.

**Fotointerpretación:** interpretación realizada sobre fotos aéreas verticales y ortofotomapas, con el propósito de obtener información confiable de los objetos físicos y el medio ambiente con ayuda de los procesos de registro y medición.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

**Fumagina:** crecimiento de varias especies de hongos, cuyo micelio y esporas negras cubren la superficie de su planta hospedera, estos hongos que viven de sustancias secretadas por insectos como áfidos y moscas blancas.

**Infeción:** establecimiento de un parásito dentro de una planta hospedante.

**Inoculación:** llegada o transferencia de un patógeno a su hospedante.

**Medio de cultivo:** son sustancias que se utilizan para cultivar y mantener microorganismos en el laboratorio con el objetivo de hacer crecer bacterias, virus y hongos, especialmente. En algunos también se utilizan para tejidos o células, pero en menos casos.

**Necrosis:** se define como la muerte patológica de un conjunto de células o de cualquier tejido del organismo, debida a un agente nocivo que ha provocado una lesión tan grave que no se puede reparar o curar

**Pústula:** pequeño abultamiento formado por fructificaciones de hongos o por las lesiones presentes en la planta.

**Pudrición:** pequeño abultamiento formado por fructificaciones de hongos o por las lesiones que se originan en los tejidos epidérmicos, dependiendo si la planta tiene crecimiento primario o secundario.

**Respuesta Espectral:** cada tipo de material radia una combinación de ondas electromagnéticas características (respuesta espectral) como consecuencia de su composición, estructura y actividad.

**Síntoma:** es la manifestación en la planta del proceso de la enfermedad. Por lo tanto, su expresión depende de la planta (especie, variedad), del patógeno y del ambiente.

**UAVs:** vehículos aéreos no tripulados (drones).

### Resumen en español

<sup>1</sup>**Título:** Diagnóstico sanitario de robledales (*Quercus humboldtii* Bonpl.) empleando técnicas de laboratorio y teledetección en García Rovira. \*

**Autores:** Lidys Xiomara Alvarado Tarazona y Yeferson Arley Correa Delgado. \*\*

**Palabras claves:** Bosque Altoandino, Agente patógeno, Hongos, Sensor remoto, Respuesta espectral.

#### Descripción:

En el departamento de Santander los robledales se distribuyen en el corredor Guantiva la Rusia y en la provincia de García Rovira, limitándose en la actualidad a pequeños fragmentos discontinuos degradados debido al aprovechamiento y la expansión agrícola, afectados principalmente por agentes patógenos que alteran su fisiología, estructura, calidad, valor social y económico. El objetivo de este proyecto fue realizar un diagnóstico sanitario en robledales de García Rovira, Santander empleando técnicas de laboratorio y de teledetección. Se realizó en 120 individuos de los cuales se seleccionaron 24 para la colecta de muestras de corteza y ramas con sintomatologías (3 muestras por árbol). El aislamiento de los hongos fitopatógenos se realizó mediante siembra por punción. Se registraron 10 síntomas en total, los de mayor incidencia y gravedad fueron los puntos y manchas necróticas, el tizón, las pústulas y la fumagina. Se obtuvo un total de 5 géneros de hongos microscópicos, de los cuales *Fusarium* spp y *Botrytis* spp son patógenos. Por otra parte, la caracterización macroscópica arrojó como resultado un total de 28 especies de macrohongos y 9 registros nuevos para el departamento. En términos de respuesta espectral no hubo correlación entre la evaluación fitosanitaria y los niveles de reflectancia. Sin embargo, se pudieron apreciar altos niveles de enfermedades, con la ayuda de una matriz Kappa que presentó concordancia moderada-buena (51% - 77%). Aunque en ningún caso ha sido demostrado que los hongos patógenos encontrados causen enfermedades graves a corto plazo en el *Quercus humboldtii* Bonpl., los resultados evidencian que los hongos microscópicos tienen el potencial de generar afectaciones graves en condiciones de estrés en árboles aledaños al borde del bosque.

---

\*Diagnóstico sanitario de robledales (*Quercus humboldtii* Bonpl.) empleando técnicas de laboratorio y teledetección en García Rovira. \*\*Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Sandra Milena Díaz López. MSc. Manejo Uso y conservación del Bosque. Doris Duarte Hernández. MSc. Manejo Uso y conservación del Bosque.

**Resumen en inglés.**

**<sup>2</sup>Title:** Health diagnosis of oak forest (*Quercus humboldtii* Bonpl.) using laboratory and remote sensing techniques in García Rovira.

**Authors:** Lidys Xiomara Alvarado Tarazona and Yeferson Arley Correa Delgado.

**Key words:** High Andean forest, Pathogen, Fungi, Remote sensing, Spectral response.

**Description:**

In the department of Santander, oak forests are distributed in the Guantiva la Rusia corridor and in the province of García Rovira, currently limited to small discontinuous fragments degraded due to harvesting and agricultural expansion, mainly affected by pathogenic agents that alter their physiology, structure, quality, social and economic value. Therefore, the general objective of this project was to carry out a health diagnosis in oak groves of García Rovira, Santander. This was carried out in 120 individuals of which 24 were selected for the collection of samples of bark and branches with symptomatology (3 samples per tree). Isolations of the phytopathogenic fungi were made by means of sowing by puncture. A total of 10 symptoms were recorded, with the highest incidence and severity being necrotic spots and stains, blight, pustules and fumagina. A total of 5 genera of microscopic fungi were obtained, of which *Fusarium* spp and *Botrytis* spp are pathogenic. On the other hand, macroscopic characterization resulted in a total of 28 species of macrofungi and 9 new records for the department. In terms of spectral response, there was no correlation between the phytosanitary evaluation and reflectance levels. However, high levels of disease can be appreciated, with the help of a Kappa matrix that presented a moderate-good concordance (51% - 77%). Although in no case have they shown a moderate-good concordance (51% - 77%). Although in no case have they demonstrated that the pathogenic fungi found cause serious diseases in the short term in *Quercus humboldtii* Bonpl. The results show that microscopic fungi have the potential to generate serious affectations under stress conditions in trees bordering the edge of the forest.

---

<sup>2</sup> \*Health diagnosis of oak groves (*Quercus humboldtii* Bonpl.) using laboratory and remote sensing techniques in García Rovira. \*\*Institute of Regional Projection and Distance Education. Forestry Engineering Program. Sandra Milena Díaz López. MSc. Forest Use and Conservation Management. Doris Duarte Hernández. MSc. Forest Use and Conservation Management.

## Introducción

En los bosques altoandinos el roble colombiano (*Quercus humboldtii* Bonpl) es una especie dominante, vulnerable, además de endémica (Quevedo y Prato, 2020), se distribuye en 18 departamentos de Colombia, en altitudes variables entre los 750 y los 3200 m s.n.m (Avella y Cárdenas, 2010).

Los bosques de roble tienen características particulares que los convierten en ecosistemas estratégicos a nivel ecológico y socioeconómico ya que estos albergan gran diversidad de especies, entre las que se destacan, el roble negro (*Colombobalanus excelsa*), el punte (*Aniba perutilis*), el pino colombiano (*Podocarpus oleifolius*), y algunas palmas (*Ceroxylum quinduense*, *C. vogelianum*) (Avella y Cárdenas, 2010). Así mismo, factores como la humedad y la sombra creada por el denso dosel generan un gran potencial para la proliferación de numerosas especies de hongos microscópicos y macroscópicos que a su vez desempeñan funciones ecológicas como procesadores de nutrientes, simbioses, mutualistas y patógenos (Avella y Cárdenas, 2010; Andrew et al., 2019).

A pesar de la importancia que refiere al reino Fungi, todavía existe conocimiento básico sobre la diversidad taxonómica, las comunidades fungicas y los patrones de distribución de los macrohongos (Andrew et al., 2019), motivo por el cual en las últimas décadas ha incrementado el interés en estudiar su diversidad (Franco et al., 2010). De igual forma otro grupo de hongos bien estudiado a nivel morfológico, pero está poco representado en una clasificación natural basada en la filogenia son los mohos negros o fumaginas conformado por (más de 200 especies) las cuales

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

requieren un estudio detallado en laboratorio con el fin de estudiar las relaciones de los hongos que las conforman y como estas afectan o benefician a las plantas (Chomnunti et al. 2014).

En los departamentos de Santander y Boyacá, se encontraron fumaginas asociadas a la presencia de *Stigmacoccus asper* (Chamorro et al., 2013; Peña y Páez, 2019), los individuos de esta especie neotropical perteneciente a la familia Stigmacoccidae orden Hemiptera, se ubica principalmente debajo de la corteza de los árboles de roble y excretan mielato en forma de gotas a través de un filamento hueco conectado al ano (Chamorro et al., 2013). El mielato cae sobre la corteza de los árboles y en el suelo, superficies donde crecen fumaginas, que en algunos árboles cubren completamente el tronco y las ramas, esto desencadena la presencia de agentes patógenos que atacan los bosques y causan daños leves, severos e incluso la desaparición de una parte o la totalidad de árboles que componen el ecosistema (Chamorro et al., 2013; Peña y Páez, 2019).

La respuesta de la vegetación a la presencia de agentes patógenos puede producir cambios bioquímicos a nivel celular y foliar, afectando los sistemas de fotopigmentos y el contenido de humedad (Zúñiga, 2018). Lo cual provoca cambios biofísicos en la estructura de la copa, el índice de área foliar o la biomasa; estos cambios en las características espectrales producidos por las plantas enfermas, permiten la detección de las enfermedades mediante los contrastes que resultan en las fotografías (Zúñiga, 2018).

En los últimos años, los índices de vegetación se han utilizado para determinar el tipo de cobertura, evaluar sus cambios temporales o determinar la salud de los cultivos y bosques basándose en evaluaciones de características como el vigor de las plantas, el contenido de agua, clorofila o el estado nutricional (Revelo et al., 2020).

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Sin embargo, a la fecha no se han realizado estudios sobre los agentes patógenos causantes de las fumaginas; por lo tanto, se pretende que, mediante el uso de sensores remotos, la detección y análisis de los cambios que se producen en el comportamiento espectral de los bosques permitan la caracterización y evaluación del estado fitosanitario de las plantas, detectando incidencias de plagas y enfermedades.

## 1. Objetivos

### 1.1. Objetivo general

- Realizar un diagnóstico sanitario en robledales de García Rovira, Santander, Colombia.

### 1.2. Objetivos específicos

- Identificar hongos patógenos microscópicos y la distribución de los daños producidos en árboles de tres robledales de García Rovira Santander.
- Caracterizar los macro hongos asociados al (*Quercus humboldtii* Bonpl) en los municipios de Molagavita, Carcasí y Concepción, Santander.
- Evaluar los patrones de respuesta espectral y su relación con el estado fitosanitario del dosel en individuos de (*Quercus humboldtii* Bonpl), en los municipios de Molagavita, Carcasí y Concepción, Santander.

## 2. Marco referencial

### 2.1. Marco teórico

Los agentes fitopatógenos son organismos infecciosos capaces de ocasionar alteraciones nocivas de la fisiología y estructura normal de las plantas (Rivera y Wright, 2020) y producir enfermedades que implican cambios en su forma, fisiología, integridad o comportamiento, que con el tiempo pueden ocasionar la muerte de la planta o de sus órganos (Peña y Páez, 2019). Las plantas permanecen sanas cuando desarrollan sus funciones fisiológicas según su potencial genético (Peña y Páez, 2019). Estas funciones están relacionadas con su división celular normal, su diferenciación, desarrollo, la absorción del agua y los minerales del suelo, su translocación por toda la planta y los productos fotosintéticos hasta sus órganos, el metabolismo de los compuestos sintetizados, la reproducción y el almacenamiento de las reservas alimenticias necesarias para la reproducción (Peña y Páez, 2019; Rivera y Wright, 2020). Por el contrario, cuando hay presencia de alguna enfermedad, una o varias de las funciones son alteradas por organismos patógenos o por condiciones del medio (Murace et al., 2011). Según Rivera y Wright (2020), las afectaciones o alteraciones de las plantas varían de acuerdo con el agente que las cause y la frecuencia de ataque. Inicialmente, la reacción de la planta ante el agente que ocasiona su enfermedad está concentrada en la zona enferma y es de origen químico e invisible, pero tiempo después la reacción se difunde y produce cambios notables perceptibles en los signos del patógeno y síntomas ocasionados por la enfermedad (Peña y Páez, 2019; Rivera y Wright, 2020).

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.1.1. *Quercus humboldtii* Bonpl.**

Árbol de gran porte el cual puede alcanzar hasta los 30 metros de altura y un metro de diámetro. Se ramifica entre los 4 a 5 metros y su copa es redonda. Su corteza externa es rugosa, de color negruzco y a veces presenta grietas. La madera presenta un peso específico de 0,97 g/cm<sup>3</sup>, clasificada entre la categoría de maderas duras y pesadas. Sus hojas son simples, alternas, espiraladas y de borde entero (Gómez et al., 2013). Además, las flores son unisexuales de color crema y el fruto es una bellota de forma ovoide y color café claro. Posee una cápsula escamosa, además tiene una testa de color café claro y textura lisa (Gómez et al., 2013).

### **2.1.2. *Bosques de roble***

Los bosques de roble, dominados por *Quercus humboldtii* Bonpl, están distribuidos en 18 departamentos de Colombia, en altitudes variables entre los 750 y los 3200 metros sobre el nivel del mar, tienen características particulares que los convierten en ecosistemas andinos estratégicos a nivel ecológico y socioeconómico (Avella y Cárdenas, 2010).

### **2.1.3. *Enfermedades asociadas a los robles***

Los hongos son uno de los agentes responsables de patologías forestales, estos tienen la posibilidad de provocar inconvenientes leves, que solo poseen repercusiones estéticas, o graves, como la reducción de la tasa fotosintética por defoliación, el debilitamiento del transporte vascular por presencia de chancros en el tronco y el decrecimiento de la absorción de agua y minerales por pudrición de la raíz que tienen la posibilidad de llevar a el deceso del árbol (Pildain y De Errasti, 2011).

#### **2.1.4. Microscopía**

Es el estudio detallado de los componentes animales o vegetales, por el tamaño que poseen, esto requiere el uso de instrumentos que permitan ampliar muchas veces más la imagen de las estructuras que los constituyen (Montalvo,2010). El instrumento que fue empleado por los primeros biólogos para estudiar la célula y los tejidos es el microscopio. El nombre deriva etimológicamente de dos raíces griegas: mikrós, que significa pequeño y skopéoo, que significa observar, por ende, se entiende la microscopía como la observación de objetos muy pequeños bajo grandes aumentos (Montalvo, 2010).

#### **2.1.5. Reino fungi**

Los hongos están agrupados en un reino aparte, el Reino Fungí. Sin embargo, lo primero que se suele pensar es en un cuerpo fructífero en forma de sombrero, por ejemplo, el champiñón. Pero este tipo de morfología es solo una de las tantas que podemos encontrar. El verdadero cuerpo del hongo es conocido como micelio, y está compuesto por largos filamentos denominados hifas. Si se mira al microscopio el sustrato sobre el que crecen (como la tierra o la madera), encontraremos que está invadido por las hifas. Lo que comúnmente se llama “hongo”, son los cuerpos fructíferos de los mismos, encargados de producir las esporas cuya función es la reproducción sexual (Kuar et al., 2013).

#### **2.1.6. Teledetección**

La teledetección es un conjunto de la cual se obtiene información que está fuera del alcance del ojo humano, y se obtiene mediante la interacción de los elementos principales: el sensor, el objeto de estudio y el Espectro Electromagnético. Cuando se analiza el comportamiento espectral de la vegetación se puede observar que la reflectividad está influenciada por factores como la geometría y posición de las hojas, el ángulo de visión, la lignina y el tipo de suelo (Martínez y Solís, 2018).

### **2.1.7. Imágenes multiespectrales**

Una imagen multiespectral es una imagen que captura datos de imagen dentro de características de longitud de onda específicas del espectro electromagnético. Una imagen multiespectral divide la luz en una pequeña cantidad de bandas multiespectrales, creando de 3 a 15 bandas por imagen.

### **2.1.8. Índice de vegetación**

Los índices de vegetación son medidas cuantitativas, fundamentadas en los valores digitales, que tienden a medir la biomasa o vigor vegetal (Campbell y Wynne 2011). El índice de vegetación es el producto de diferentes valores espectrales que son calculados en una forma diseñada para crear un valor que indique la porción o vigor de vegetación en un píxel. Elevados valores de índices de vegetación identifican píxeles cubiertos por proporciones fundamentales de vegetación sana. Los índices de vegetación más usados y derivables de un sector multiespectral tribanda son el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI), y el Índice de Vegetación Ajustado del Suelo (SAVI), fueron desarrollados para el monitoreo de la vegetación. La mayor parte de estos índices permanecen basados en las interrelaciones diferentes entre la vegetación y la energía electromagnética de las bandas del espectro rojo e infrarrojo (Campbell y Wynne 2011).

## **3. Metodología**

La metodología se dividió en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y fase de evaluación espectral con el fin de darle solución a los objetivos propuestos.

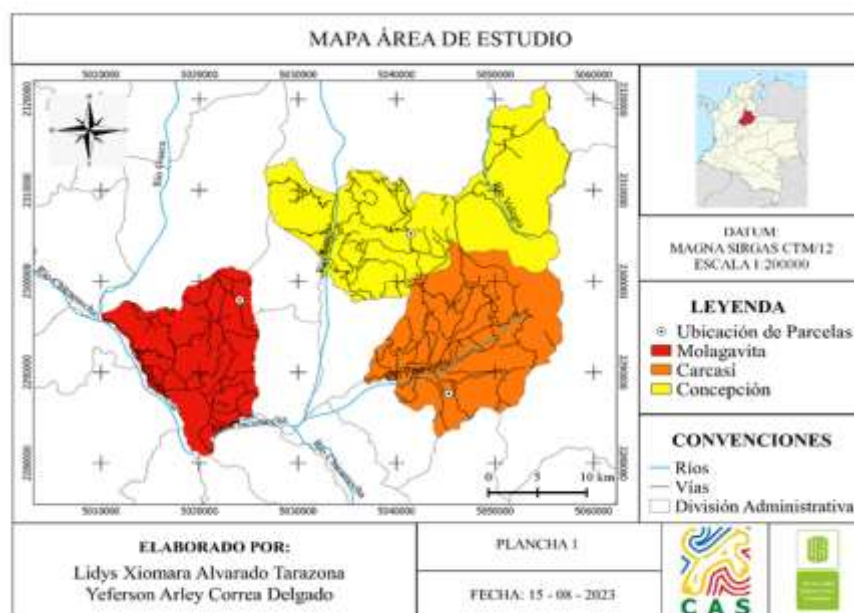
### 3.1. Área de estudio

El diagnóstico se llevó a cabo en 3 bosques de la provincia de García Rovira, en Santander ubicados en los municipios de Concepción, Molagavita y Carcasí.

Para el caso de Concepción, la temperatura media tiene un valor de 17°C, una precipitación media anual de 1540 mm, en Molagavita la temperatura media es de 17°C, dónde la precipitación media anual del municipio es de 1829 mm, por otra parte, se tiene el municipio de Carcasí el cual cuenta con una temperatura media de 15°C y el promedio anual de precipitación es de 2467 mm (Gobernación de Santander, 2015).

#### Figura 1.

Mapa área de estudio



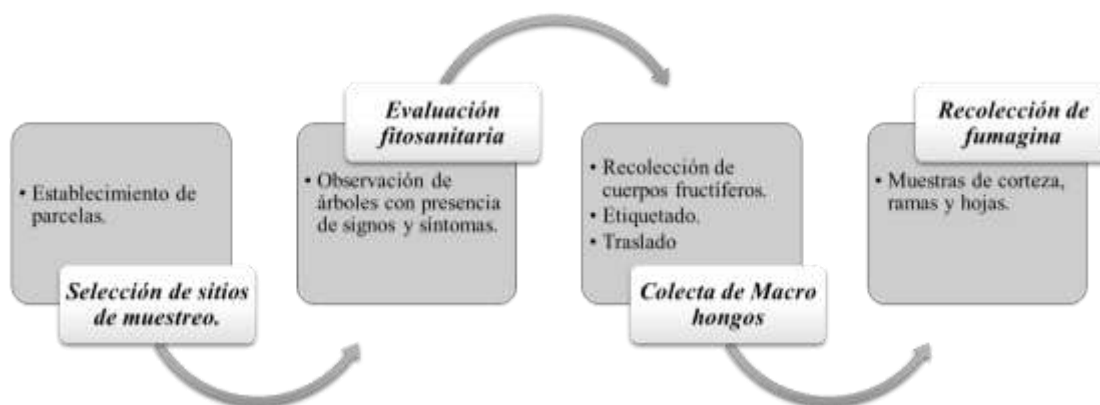
Nota. Ubicación geográfica de los sitios de estudio.

### 3.2.Fase de campo

La fase de campo se distribuye en: selección de parcelas, evaluación fitosanitaria, colecta de macrohongos y recolección de fumagina

#### Figura 2.

*Metodología fase de campo*



#### 3.2.1. Selección de sitios de muestreo.

La selección del área de estudio se realizó de manera aleatoria dentro de los robledales ubicados en Molagavita, Concepción y Carcasí, se establecieron 4 parcelas circulares, 2 ubicadas en el interior del bosque y 2 al borde de este con un tamaño de 500 m<sup>2</sup> a una distancia de 120 m entre ellas. Estas fueron nombradas con letras y se les asignó un carácter adicional dependiendo de su ubicación en el bosque, donde la letra B representa el borde y la letra I hace referencia al interior, de esta manera se creó una nomenclatura compuesta por 3 letras. Las parcelas A y B se encuentran ubicadas al borde del bosque en los 3 sitios (PAB y PBB), mientras que las parcelas C y D que se encuentran ubicadas al interior del bosque en los 3 sitios (PCI y PDI).

### **3.2.2. Diagnóstico fitosanitario.**

Con el fin de realizar una valoración general del estado sanitario de los árboles, se evaluaron los daños presentes en los mismos. Se definió un número de muestreo de 10 individuos por parcela a los cuales se les evaluó la presencia de signos y síntomas como enroscamiento, manchas y puntos necróticos, tizón, fumagina, necrosis, pústulas, secreción, clorosis, canchales, pudrición y otras variables como rectitud e inclinación del fuste considerando la división anatómica natural de los árboles (copa, fuste y raíz), teniendo en cuenta la metodología planteada por Giraldo et al., 2022. Por otra parte, para la valoración de signos y síntomas característicos de las hojas fue necesario el uso de binoculares. La información se recolectó en un formato de campo. Este incluye nombre y ubicación de las parcelas, número de individuos, nombre común, estrato evaluado (según la metodología del Sistema de evaluación de seis clases: modificado de Hawksworth, 1977), signos y síntomas. Además, a cada uno de los individuos evaluados se le registró su ubicación geoespacial con ayuda de un GPS Garmin 64s.

### **3.2.3. Colecta de macro hongos.**

Para la exploración micológica de macro hongos se realizaron 3 recorridos a lo largo de los bosques, cada uno con una duración de 4 horas en cada sitio. Para el correcto manejo del material fúngico fue necesario observar el terreno y anotar las condiciones en que fue encontrado el ejemplar. Tomar fotografías del hongo en fresco y todos los detalles posibles, además fue fundamental que el ejemplar, se extrajera todo desenterrándolo de la base, cortándolo ó sacándolo con parte del sustrato (caso de especies que crecen en sustratos transportables como hojas o ramas pequeñas). Una vez extraída la seta, se observaron los cambios generados al ser extraídos de su ambiente: exsudado, cambio de coloración, variaciones en el cuerpo fructífero. Se fotografiaron

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

en fresco algunos detalles como el tamaño, el color, lamelas, píleo. Los datos fueron anotados en una etiqueta de recolección. La muestra fue guardada en una envoltura de papel encerado para evitar la mezcla de esporas que obstruyera una correcta identificación del espécimen.

### 3.2.4. *Recolección de muestras de fumagina.*

Se colectaron muestras de corteza y ramas con hojas de árboles que presentaban daños, esto se llevó a cabo con la ayuda de guantes quirúrgicos, tapabocas, cuchillas, navajas estériles, y métodos antisépticos en la toma de muestras, teniendo en cuenta la metodología mencionada en la tabla 1. Para esto la unidad de muestreo fueron 4 individuos por parcela, 3 con presencia de signos y síntomas y 1 con ausencia de estos. Las muestras fueron cortadas y dispuestas en bolsas, viales y envases esterilizados. Luego se almacenaron en una nevera a 4°C para posteriormente ser usadas en laboratorio.

#### **Tabla 1.**

*Cantidad de tejido óptimo para la fase de laboratorio.*

Órgano o tejido vegetal	Adecuado	No adecuado
Tejido foliar	Ramas completas – mínimo tres ramas sintomáticas	Hojas o folíolos sueltos
Tallo o fuste	Mínimo de 40 cm de longitud	Fragmentos muy pequeños

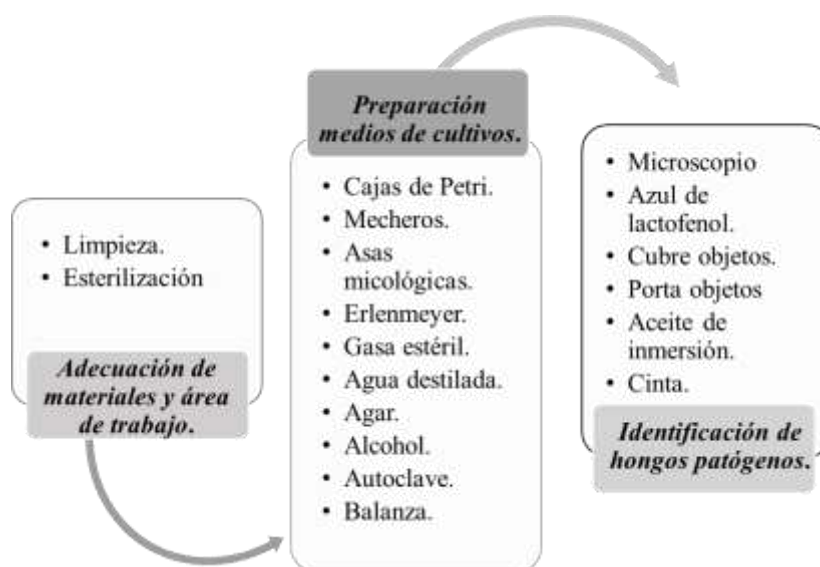
*Nota.* La tabla muestra la forma adecuada y no adecuada a tener en cuenta a la hora de recolectar muestras para ser estudiadas en el laboratorio. Tomado y modificado del Laboratorio Nacional de Diagnóstico Fitosanitario – ICA (2020).

### 3.3. Fase de laboratorio

La metodología de la fase de laboratorio se divide en tres momentos: adecuación de materiales y área de trabajo, preparación de medios de cultivo y finalmente la identificación de hongos patógenos.

#### Figura 3.

*Metodología fase de laboratorio*



### Protocolos de bioseguridad

Según De García et al., 2012 el protocolo de bioseguridad se define como la forma en la cual se implementan las pautas y acciones con el fin de proteger a las personas de riesgos biológicos, químicos y físicos, al trabajar con agentes de dichos órdenes. Las pautas fueron establecidas debido a vario reportes en los que se evidenciaron casos de personal infectados con los microorganismos con los cuales trabajaban, estas dependen del tipo de microorganismos con qué se trabaje. Este estudio se trabajó en el laboratorio de biología de la Universidad Industrial de Santander, Sede Málaga.

### **3.3.1. Adecuación de materiales y área de trabajo**

Para iniciar la fase de laboratorio fue necesario lavar las instalaciones con jabón industrial y posteriormente desinfectar con hipoclorito al 1%, así mismo, se esterilizaron los equipos con el fin de contar con una asepsia adecuada; con ayuda de mecheros de alcohol se desinfectó la atmósfera asegurando la eliminación de factores contaminantes como las esporas de hongos no deseados.

Los instrumentos de vidrio como las cajas de Petri, los Erlenmeyer y las varillas agitadoras fue necesario someterlas a una esterilización. Esta se realizó envolviendo los instrumentos anteriormente mencionados en papel Kraft y llevándolos al horno por 2 horas a una temperatura de 160°C.

### **3.3.2. Preparación de medios de cultivo y siembra**

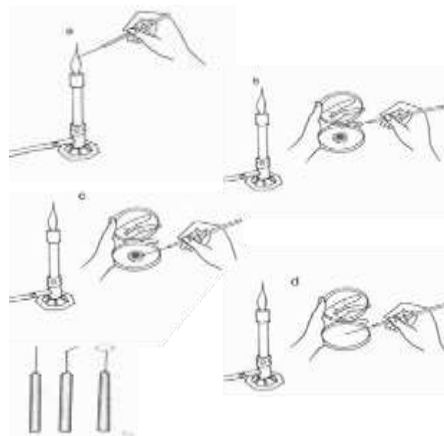
Un medio de cultivo debe tener los nutrientes necesarios para el desarrollo del hongo como lo son fuentes de carbono y nitrógeno utilizables, ciertas sales, microelementos y agua. Algunas especies de hongos requieren vitaminas y factores de crecimiento, los medios, de acuerdo con su consistencia, pueden ser líquidos o sólidos (con agar) y según composición química pueden ser sintéticos, semi sintéticos o naturales. Para la preparación del medio se seleccionó el agar con extracto de malta ya que es el adecuado para la identificación del desarrollo de estructuras fúngicas asociadas a sustancias dulces debido a que es un medio usado para el enriquecimiento, este cuenta con las características descritas a continuación:

**Tabla 2.***Ficha técnica del Agar de Malta.*

Descripción	Formulación típica	Suplemento
Medio ácido que favorece el crecimiento de la mayoría de las levaduras y mohos e inhibe el crecimiento de bacterias.	Extracto de malta 30 g/L Peptona 5 g/L Agar 15 g/L pH $5.4 \pm 0.2$ a 25°C	NCM4011 Ácido Láctico 10%

*Nota. Características del Agar de Malta.* Tomado de NEOGEN, Technical Specification Sheet, Malt extract agar (s.f).

En primera instancia fueron disueltos 26 g de Agar de malta en 240 ml de agua destilada. Luego se llevó al autoclave a una temperatura de 121°C por 15 minutos en un Erlenmeyer para así esterilizar el medio de cultivo y asegurar una mayor eficacia. Después de enfriada la solución fue vertida en las cajas Petri de manera que ésta cubriera el fondo de la caja, al solidificarse la mezcla es necesario esterilizar las asas micológicas para proceder a sembrar con ayuda de un mechero calentando el asa hasta que esta cambiara a un color rojo; para su enfriamiento fue necesario sumergirla en el medio de cultivo ya que al estar estéril no representaba ningún riesgo. Llevando a cabo la siembra por punción con asa micológica para hongos miceliales, para el caso de las levaduras con el asa redonda (Figura 4). Realizando así 3 cultivos por cada parte morfológica del árbol (raíz, fuste y hojas) y 3 árboles por parcela, para un total de 9 cultivos por parcela; se llevaron a la incubadora a una temperatura de 25°C.

**Figura 4.***Siembra por punción*

*Nota:* La imagen muestra la siembra de hongos miceliales por punción y los 3 tipos de asas micológicas. Esquema por Natalia Vargas. Tomado de Cepero de García et al 2012.

**3.3.3. Identificación de hongos patógenos**

Las estructuras de los hongos fueron estudiadas por medio de observación microscópica. Cada una de las muestras se tiñó con azul de lactofenol y luego se observó en un microscopio (Olympus) con objetivos de 40x, en algunos casos se requirió una ampliación del objetivo de hasta 100x debido al crecimiento lento de las estructuras, posteriormente fueron identificados con ayuda de claves fúngicas (The sooty moulds, Clave dicotómica para la identificación de hongos microscópicos) y un microbiólogo.

Así mismo, se realizó la descripción de las características macro y microscópicas de los hongos según la metodología de (Cepero de García et al 2012) en su libro titulado Biología de hongos.

**Tabla 3.**

*Descripción de las características macro y microscópicas de los hongos.*

	Característica	Mohos	Levaduras
<b>Descripción macroscópica</b>	Color	Colonia	
		Reverso	
	Pigmento al medio		
	Tamaño de la colonia	Diámetro	
Apariencia	Correosa	Cremosa	
	Aterciopelada		
	Algodonosa		
	Polvorienta		
	Granulosa		
<b>Descripción microscópica</b>	Micelio	Hialino o dematiáceo	Formación de pseudomicelio
		Septado o aseptado (escasamente septado)	
		Ancho o delgado	
	Pared	Delgada Gruesa	
	Lisa Rugosa		

*Nota:* Pautas para la descripción macroscópica y microscópica de un hongo. Tomado de Cepero de García et al 2012.

### 3.3.4. Caracterización de macro hongos.

Una vez terminados los recorridos, los especímenes fueron llevados al laboratorio dónde se realizaron mediciones y descripciones microscópicas como textura, color (con ayuda de la tabla de códigos Pantone,) y aroma, de cada una de sus partes (micelio, himenóforo, lamelas, píleo, estípite, volva, contexto). Posteriormente, se deshidrataron para la conservación de sus estructuras, para esto se empleó un deshidratador de alimentos, las colecciones se dejaron 24 horas a 45° C; ya secas, éstas se empacaron en bolsas plásticas y se enviaron al Herbario de la Universidad de

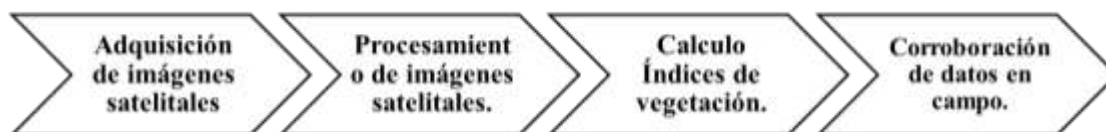
DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Antioquia. La información obtenida en campo y las descripciones microscópicas fueron fundamentales para la identificación de los especímenes, teniendo en cuenta claves fúngicas.

### 3.4. Evaluación de patrones espectrales.

#### Figura 5.

*Metodología para la evaluación de los patrones espectrales*



#### 3.4.1. Adquisición de imágenes satelitales

A la hora de seleccionar imágenes espaciales para el monitoreo de bosques es importante tener en cuenta variables importantes como calidad del producto, disponibilidad, costo, etc.; por lo que para objetos del estudio se seleccionaron imágenes satelitales de Planet Scope, el cual cuenta con las siguientes características:

**Tabla 4.**

*Características del sensor a bordo del satélite Planet Scope.*

Tipo de sensor	Pasivo
Resolución espectral	Azul costero: 431 - 452 nm Azul: 465 - 515 nm Verde I: 513 - 549 nm Verde: 547 - 583 nm Amarillo: 600 - 620 nm Rojo: 650 - 680 nm Red Edge: 697 - 713 nm NIR: 845 - 885 nm
Resolución espacial	3m
Resolución temporal	200 millones de km <sup>2</sup> /día.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

*Nota.* Esta tabla muestra las características más importantes de Planet Scope. Tomado de <https://www.planet.com/products/planet-imagery/>

Las imágenes fueron obtenidas de la plataforma Satellite Imagery Analytics Planet, esta es una herramienta en línea que se utiliza para buscar y analizar imágenes geoespaciales, lo que permite ver los cambios en todo el planeta a lo largo del tiempo. Planet Explorer se usa para buscar en un catálogo de imágenes y descargar datos de resolución completa o analizar datos alojados en el navegador.

Esta plataforma incluye imágenes del catálogo de Planet (PlanetScope, SkySat y RapidEye), así como imágenes públicas de Sentinel-2 y Landsat 8. Las imágenes de Planet están disponibles en diferentes líneas de tiempo (que van desde escenas diarias hasta mapas base semanales, mensuales y trimestrales), así como en varias resoluciones (por ejemplo, SkySat es de alta resolución y Planetscope es de resolución media).

### **3.4.2. *Procesamiento de imágenes***

Se adquirieron 3 imágenes en el mes de agosto, este mismo mes se realizó el diagnóstico sanitario, estas fueron procesadas para calcular índices de vegetación. La reflectividad de la vegetación está relacionada con la radiación electromagnética y su respuesta espectral, siendo muy típico el comportamiento de la vegetación en la banda roja, donde se observan valores elevados de absorción de radiación en el rango de color rojo por parte de la clorofila y valores elevados de reflectancia de la radiación por estructuras celulares en la banda del infrarrojo cercano. La pronunciada pendiente resultante entre estos valores extremos se conoce como banda casi roja o Red Edge. Con la ayuda del software QGIS 3.16 y su herramienta calculadora ráster, los índices

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

de vegetación se generaron con base a las bandas verde (GREEN), roja (RED), infrarroja cercana (RNIR) y borde rojo (RED EDGE) de las imágenes adquiridas.

**Tabla 5.**

*Índices espectrales importantes en la caracterización de los bosques.*

Índice	Fórmula	Características
De vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Mide el verdor y la densidad de la vegetación. La escala va de -1 a 1, valores de 0 representa el inicio de la ausencia de la vegetación y valores negativos en superficies sin vegetación.
Normalizado Diferencial de Borde Rojo (NDRE)	$NDRE = \frac{(NIR - RED_{EDGE})}{(NIR + RED_{EDGE})}$	Es un índice utilizado para medir el contenido de clorofila en las plantas, que está relacionado con su salud y crecimiento.  -1 a 1

NIR=luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano, RED=luz reflejada en el rango rojo del espectro, Green= luz reflejada en el rango verde del espectro, RED<sub>EDGE</sub>=luz reflejada en el límite entre infrarrojo cercano y el rojo del espectro.

### 3.4.3. Corroboración de datos

En las visitas realizadas a campo se georreferenciaron puntos estratégicos que incluían pastizales, herbazales, claros con vegetación y sin vegetación, árboles enfermos y sanos con el fin de realizar un contraste entre lo observado en campo y las imágenes satelitales, así mismo, se realizaron alrededor de 3 misiones de vuelo con un dron Mavic pro por área de estudio, esto con el fin de adquirir imágenes con mayor resolución espacial para una adecuada relación entre los datos.

#### **4. Análisis estadístico**

Se evaluó la relación entre la proporción de signos y síntomas calculados por métodos de campo y lo detectado a partir de las imágenes. Se llevó a cabo un análisis de correlación para determinar el nivel de daño y el nivel de significancia (prueba de Tukey) entre las estimaciones logradas por los dos métodos. El Coeficiente de Correlación de Pearson se calcula con base en el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las variables, este análisis se realizó con ayuda del software R.

## 5. Resultados

**Respuesta al objetivo de identificar hongos patógenos microscópicos y la distribución de los daños producidos en árboles de tres robledales de García Rovira Santander.**

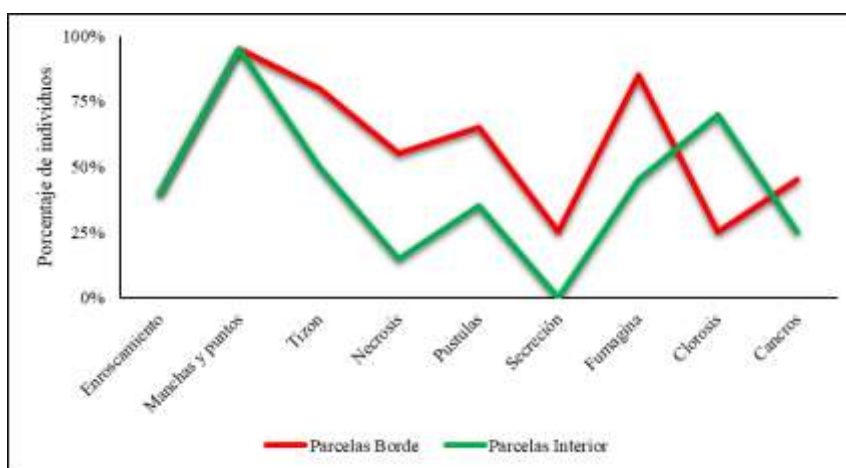
### 5.1. Evaluación Sanitaria

La evaluación sanitaria de los 120 individuos arrojó que las parcelas más afectadas para los tres sitios de estudio fueron las de borde. Así mismo, las manchas y puntos necróticos, el tizón, las pústulas y la fumagina tuvieron mayor incidencia en los tres robledales.

Se pudo inferir que en el municipio de Molagavita los síntomas que mayor afección presentan en las parcelas de borde son el tizón con el 80% del total de los individuos equivalente a 16 individuos. La fumagina se presenta en el 85% (17 individuos) y las manchas y puntos necróticos el 95% (19 individuos). A diferencia de las parcelas de borde, las parcelas de interior presentan un 45% más de individuos afectados por clorosis. Así mismo en las parcelas interior y de borde el signo que menor afección registro fue la secreción, también se logró evidenciar que el 40% de los individuos presentaron enroscamiento (9 individuos) y el 95% manchas y puntos necróticos (19 individuos). Esto indica que los síntomas son independientes del lugar del bosque en que se encuentren los individuos.

**Figura 6.**

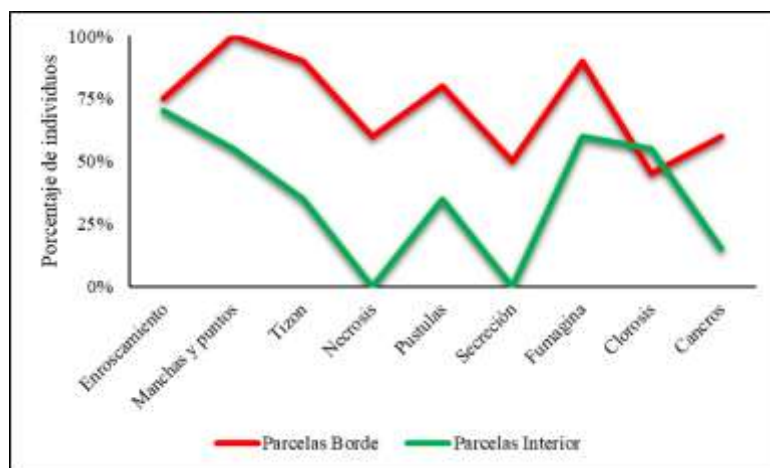
*Presencia en porcentaje de individuos con signos y síntomas por parcelas en el municipio de Molagavita, Santander.*



En la figura 7 Se evidencia que el 100% de los individuos de las parcelas ubicadas al borde presentaron puntos y manchas necróticas, el 90% tizón y fumagina (18 individuos), 80% (16 individuos) pústulas. En cuanto al enroscamiento los individuos de las parcelas de borde presentaron un 75% (15 individuos) y las parcelas de interior un 70% (14 individuos). Con respecto a las parcelas de interior, los individuos evaluados no presentaron necrosis ni secreciones. También se pudo estimar el porcentaje de afección por parcela un 38% en el interior, y un 73% al borde.

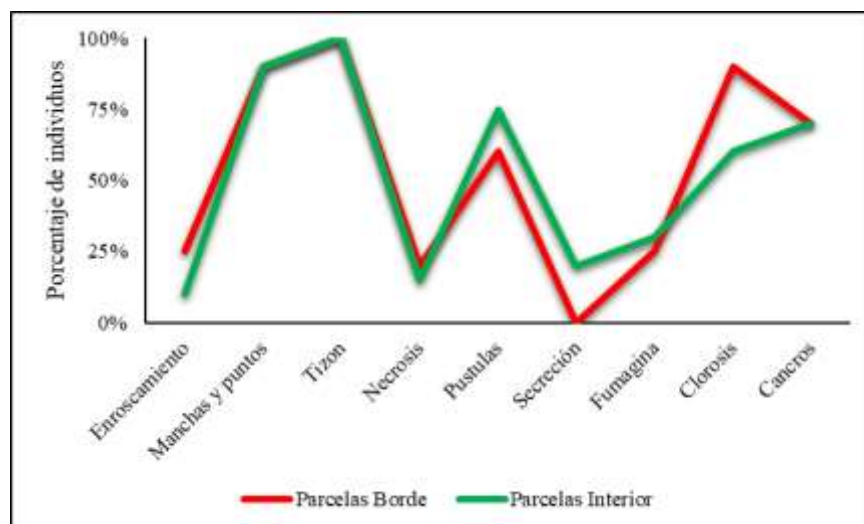
**Figura 7.**

Presencia en porcentaje de individuos con signos y síntomas por parcelas en el municipio Carcasí, Santander.



Concepción presenta un caso totalmente diferente a los otros bosques evaluados; puesto que signos y síntomas como el entroscamiento, las manchas y puntos necróticos, el tizón y la necrosis, presentan una similitud alta “independientemente” de la ubicación de los individuos en el bosque. Además, dicho porcentaje se relaciona con el estado del ecosistema. Este se encuentra ubicado en una zona de páramo con un alto nivel de intervención. Donde son los claros una de las áreas más predominantes, facilitando así la entrada de patógenos.

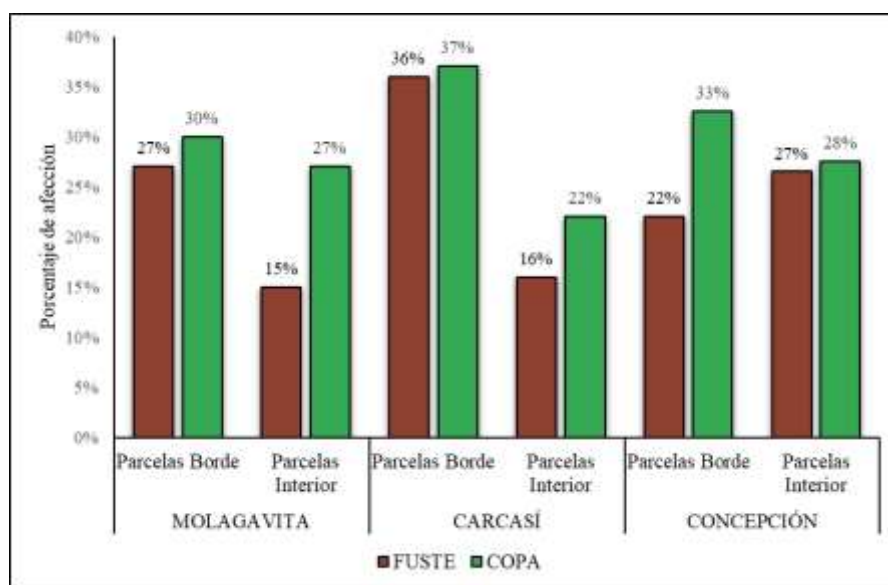
**Figura 8.** Presencia en porcentaje de individuos con signos y síntomas por parcelas en el municipio de Concepción, Santander.



En las áreas de estudio se refleja que las parcelas ubicadas al borde del bosque registran las mayores afecciones tanto en el fuste como en la copa de los individuos evaluados. En esta instancia, en las parcelas de borde de Molagavita el 27% de los individuos presentan daños en el fuste y 30% en la copa mientras que en las parcelas de interior el 15% en el fuste y el 27% en la copa. En Carcasí el 36% de los individuos en el fuste y el 37% en la copa, a diferencia de las parcelas de interior las cuales registraron 16% de enfermedad en el fuste y 22% en la copa. Las parcelas de borde en Concepción presentaron que el 22% de los individuos tienen afecciones en el fuste y 33% en la copa. En las parcelas de interior se registró que el 27% de los individuos se encuentra afectado en el fuste y el 28% en la copa.

**Figura 9.**

Porcentaje de afección de la copa y el fuste por parcelas para las áreas de estudio.



La evaluación fitosanitaria arrojó que la parte más afectada de los árboles de las tres áreas de estudio es la copa. Los signos y síntomas más representativos fueron enroscamiento, manchas y puntos necróticos, tizón, clorosis y necrosis en cada uno de los bosques evaluados. Por lo tanto, se refleja que el 99% de los individuos poseen gran afectación en el follaje, siendo las parcelas de borde las más afectadas. Así mismo, se observó que existe un 85% de individuos con afecciones en el fuste. Siendo así los individuos de las parcelas de borde los más afectados resaltando el municipio de Carcasí.

## 5.2. Identificación de hongos microscópicos

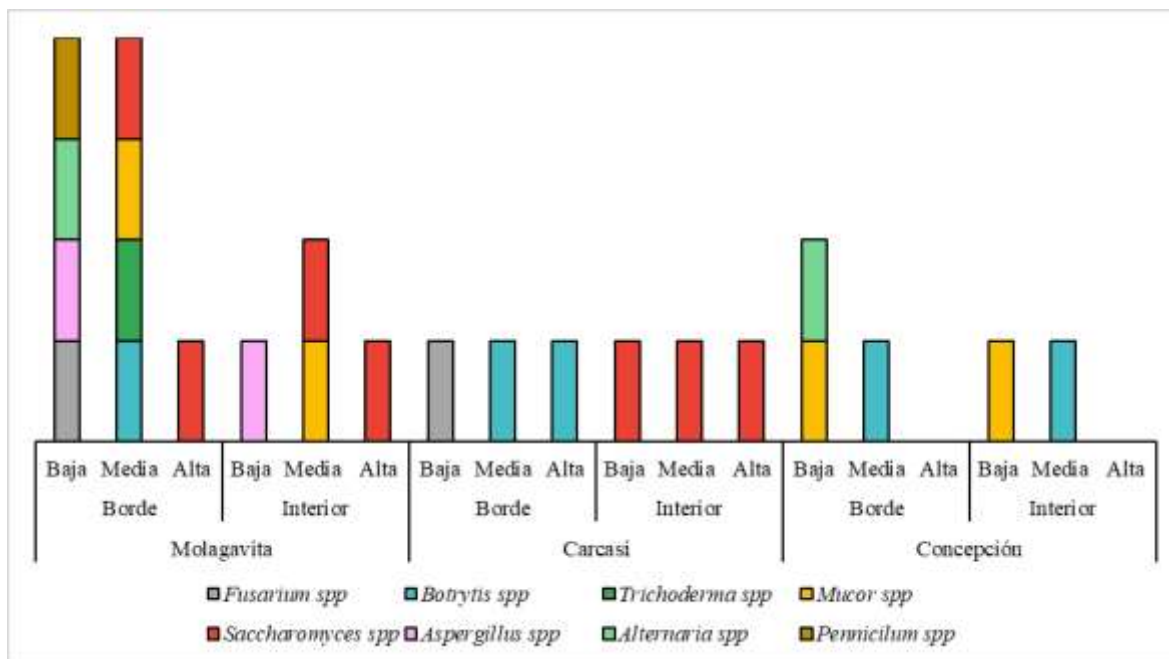
Se evaluó la presencia de hongos microscópicos en las 3 partes del árbol, con el fin de determinar en qué estrato se encontraban. Como resultado de los muestreos se determinó que el hongo *Saccharomyces* spp se presentó en las 3 partes del árbol en parcelas tanto de borde como de interior en Molagavita y Carcasí, sin embargo, este hongo no fue encontrado en Concepción. Esto

## DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

se debe a que es un hongo oportunista que se desarrolla sobre ambientes con sustancias azucaradas, por lo tanto, la cantidad tan baja de mielato pudo repercutir en su desarrollo. Así mismo, el patógeno *Botrytis* spp se encontró en los 3 sitios, principalmente en las áreas medias que presentaban follaje. En la parcela de borde del municipio de Carcasí fue encontrado en la parte alta, esto sugiere que dicho hongo ya está llegando a la parte superior del bosque, recalcando así que la parte más afectada del árbol es la copa, esto puede ser un factor importante para futuras investigaciones. Otros hongos encontrados fueron *Fusarium* spp, *Aspergillus* spp, *Alternaria* spp, *Penicillium* spp siendo patógenos asociados a plantas enfermas, siendo *Fusarium* spp el único de estos que sobrevivió a los aislamientos, por otra parte, se encontró una especie oportunista y una benéfica.

**Figura 10.**

*Presencia de hongos por estrato para cada una de las áreas de estudio*



A continuación, se describe cada una de las características micro y macroscópica de los hongos identificados.

### 5.2.1. Descripción macroscópica de *Fusarium spp.*

Al estudiar las características macroscópicas del *Fusarium spp*, se pudo apreciar colonias con crecimiento inicial lento y de apariencia algodonosa, sus coloraciones varían entre blanquecinas y rosadas en los primeros estados de desarrollo; en algunos aislamientos, con el tiempo, se percibieron colores rojos, violetas, rosado y blanco; en el reverso de la caja de Petri, se remarcan coloraciones curuba y marrón claro, con crecimiento uniforme en el centro de la caja y un tono más claro hacia el borde. Además, se pudieron apreciar colonias de color amarillo y blanco con tonalidades más profundas en el punto de siembra. Sin embargo, “se requiere de los criterios biológicos, morfológicos y moleculares, para determinar taxonómicamente las especies de *Fusarium*, que pueden estar involucradas en las enfermedades de las plantas” (Leslie y Summerell,2006).

**Tabla 6.**

*Características macroscópicas presentes en los cultivos del género Fusarium spp*

<b>Características evaluadas</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Color</b>	Amarillo, blanco, rojo, violeta, rosado.
<b>Diámetro del micelio</b>	6 cm
<b>Textura</b>	Etapa temprana: Algodonosa. Etapa tardía: Rígida.
<b>Bordes</b>	Irregulares.
<b>Elevación</b>	Cóncava.
<b>Tiempo de crecimiento</b>	15 días.
<b>Temperatura de siembra.</b>	25 °C

Nota: La tabla muestra las características macroscópicas del hongo *Fusarium spp* observadas en laboratorio.

### 5.2.2. Descripción microscópica de *Fusarium spp*

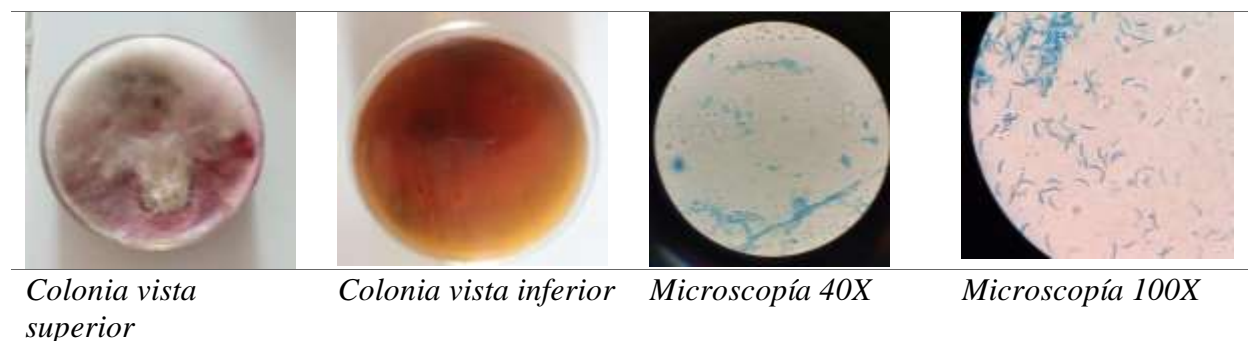
Al realizar la microscopía se obtuvo que estos hongos presentan características propias de la especie, como son macroconidias con septos pronunciados de forma alargada y ligeramente

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

curvadas (en forma de bananos), el pie basal termina en un punto, las microconidias sin septos y con forma ovalada.

**Tabla 7.**

*Crecimiento micelial y microscopía de Fusarium spp*



Nota: la tabla muestra las estructuras fúngicas a nivel macro y microscópico del *Fusarium* spp.

### 5.2.3. Descripción macroscópica de *Mucor* spp

Las colonias de *Mucor* spp encontradas, presentaron características como una textura algodonosa y un color blanco en sus primeras etapas de desarrollo, a medida que este fue creciendo se notaron variaciones en su estructura y coloración, ya que su altura en la caja aumentó significativamente y pasó de tener una coloración blanca a una grisácea de aspecto vellosa algodonosa, su micelio se propagó por toda la caja de Petri.

**Tabla 8.**

*Características macroscópicas presentes en los cultivos del género Mucor spp*

Características evaluadas	Observaciones
<b>Color</b>	Blanco y gris.
<b>Diámetro del micelio</b>	8 cm
<b>Textura</b>	Etapa temprana: Blanco. Etapa tardía: Blanco grisáceo
<b>Bordes</b>	regulares.
<b>Elevación</b>	cóncava.
<b>Tiempo de crecimiento</b>	7 días
<b>Temperatura de incubación</b>	25 ° C

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

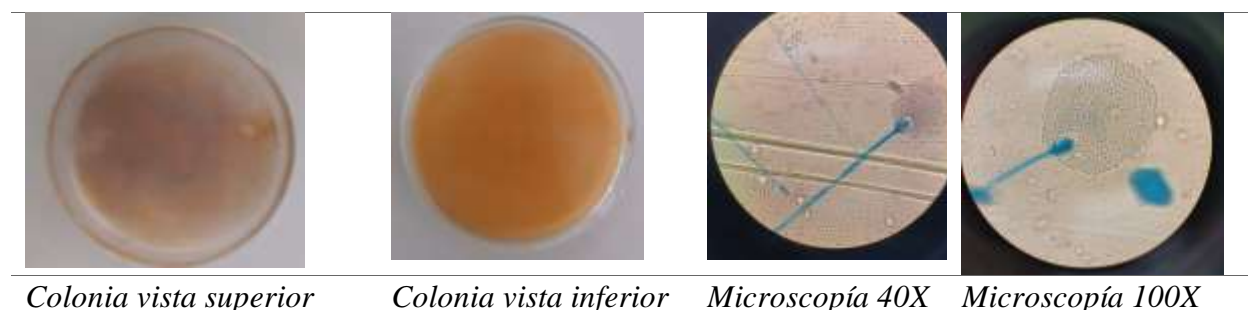
Nota: La tabla muestra las características macroscópicas del hongo *Mucor* spp observadas en laboratorio.

#### 5.2.4. Descripción microscópica de *Mucor* spp

Presentan una estructura ramificada con esporangios en esporangióforos globosos. Los esporangios contienen toda la columela y esporas, pudiendo ser delicuescentes. Se pudo apreciar una pared delgada en los esporangios que en algunas microscopías se rompía irregularmente para liberar esporangiosporas que estaban en su interior. Con las esporas dispersas, la columela que llevaba los esporangios es visible, dejando a veces un collar en la base del esporangio.

#### Tabla 9.

*Crecimiento micelial y microscopia de Mucor spp*



*Colonia vista superior*      *Colonia vista inferior*      *Microscopía 40X*      *Microscopía 100X*

Nota: la tabla muestra las estructuras fúngicas a nivel macro y microscópico del *Mucor* spp

#### 5.2.5. Descripción macroscópica de *Trichoderma* spp.

Las colonias de *Trichoderma* spp presentaron características macroscópicas de consistencia algodonosa esponjosa, cuyo micelio presentaba variación en las tonalidades, como blanco, verde y amarillo, el desarrollo de estas colonias se hizo presente en el centro de las cajas, las estructuras no presentaron anillos definidos.

**Tabla 10.**

*Características macroscópicas presentes en los cultivos del género Trichoderma spp*

Características evaluadas.	Observaciones.
<b>Color</b>	Blanco, verde, amarillo.
<b>Diámetro</b>	5.5 cm.
<b>Textura</b>	Algodonosa esponjosa.
<b>Bordes</b>	Irregulares.
<b>Elevación</b>	Irregular.
<b>Tiempo de crecimiento</b>	8 días.
<b>Temperatura de incubación</b>	25° C.

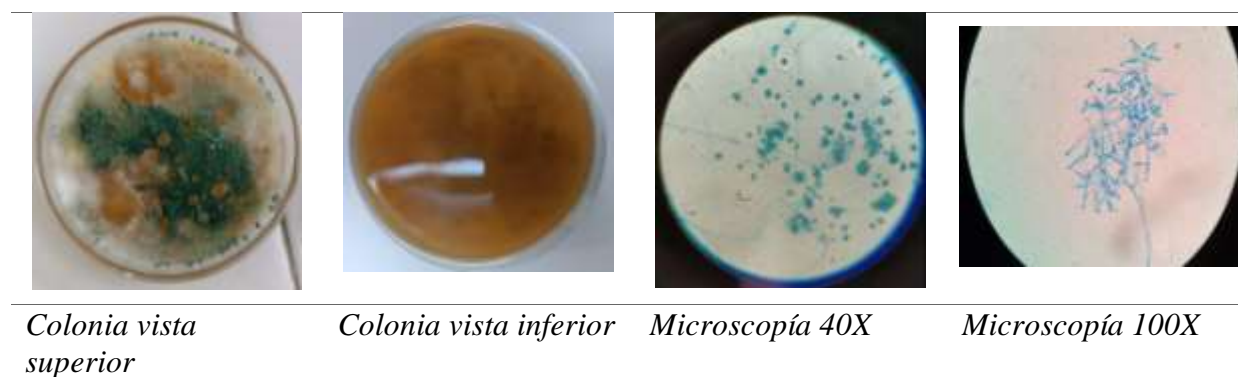
Nota: La tabla muestra las características macroscópicas del hongo *Trichoderma spp* observadas en laboratorio.

### 5.2.6. Descripción microscópica de *Trichoderma spp*

Microscópicamente se evidenció el desarrollo de hifas ramificadas, aseptadas de las cuales se desprenden conidióforos también ramificados, a partir de los cuales se desarrollan fiálides en forma de botella que producen los conidios muchas veces en formación de cabezas conidiales. desarrollando hifas, conidióforos y fiálides, las conidias se evidenciaron en forma individual. A la vez se observaron clamidosporas como estructuras de resistencia tanto terminales como intercalares.

**Tabla 11.**

*Crecimiento micelial y microscopia de Trichoderma spp*



Nota: la tabla muestra las estructuras fúngicas a nivel macro y microscópico del *Trichoderma spp*

### 5.2.7. Descripción macroscópica de *Botrytis spp.*

El hongo *Botrytis spp* cultivado en Agar malta tuvo buena respuesta frente a este medio de cultivo donde se evidenció un micelio abundante de color blanco en las primeras etapas de desarrollo presentando además una textura algodonosa pulvurulenta, las colonias proliferaron por toda la caja aproximadamente una semana después de su siembra.

**Tabla 12.**

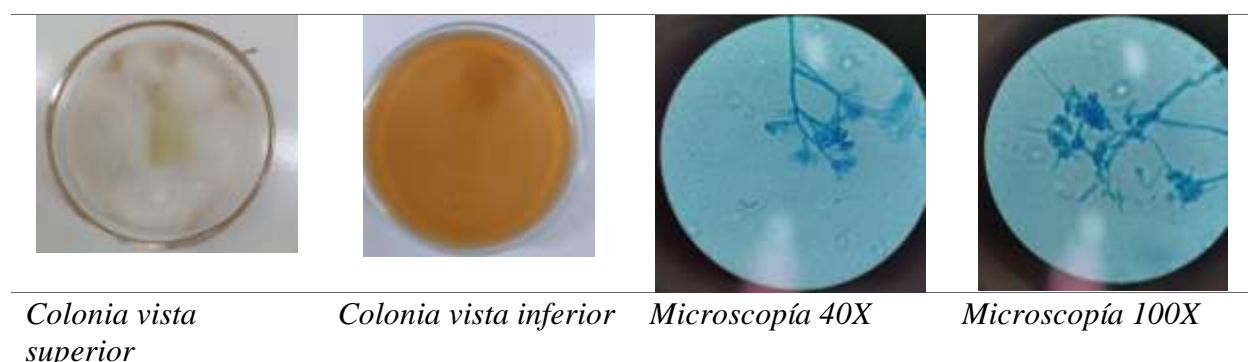
*Características macroscópicas presentes en los cultivos del género Botrytis spp*

Características evaluadas	Observaciones
<b>Color</b>	Blanco
<b>Diámetro del micelio</b>	8 cm.
<b>Textura</b>	Algodonosa esponjosa.
<b>Bordes</b>	Regulares.
<b>Elevación</b>	Cóncava.
<b>Tiempo de crecimiento</b>	8 días.
<b>Temperatura de incubación</b>	25° C.

Nota: La tabla muestra las características macroscópicas del hongo *Botrytis spp* observadas en laboratorio.

### 5.2.8. Descripción microscópica de *Botrytis spp*

Se observó que el crecimiento de *Botrytis spp* produjo una gran cantidad de micelio gris y varios conidióforos largos y ramificados, cuyas células apicales tenían forma redondeada produciendo así racimos de conidios ovoides, unicelulares, incoloros o de color gris. Los conidióforos y los racimos de conidios se asemejan a un racimo de uvas.

**Tabla 13.***Crecimiento micelial y microscopia de Botrytis spp*

Nota: la tabla muestra las estructuras fúngicas a nivel macro y microscópico del *Botrytis spp*

### 5.2.9. Descripción macroscópica de *Saccharomyces spp*

Se evidenciaron colonias macroscópicas de apariencia cremosa de rápido crecimiento, textura lisa de coloración opaca con tonalidades que iban desde el blanco hasta el color crema.

**Tabla 14.***Características macroscópicas presentes en los cultivos del género Saccharomyces spp*

<b>Características evaluadas.</b>	<b>Observaciones.</b>
<b>Color</b>	Blanco, amarillo, crema (beige).
<b>Diámetro</b>	8 cm.
<b>Textura</b>	Cremosa
<b>Bordes</b>	Regulares
<b>Elevación</b>	Convexa.
<b>Tiempo de crecimiento</b>	3 días.
<b>Temperatura de incubación</b>	25° C.

Nota: La tabla muestra las características macroscópicas del hongo *Saccharomyces spp*. observadas en laboratorio.

### 5.2.10. Descripción microscópica de *Saccharomyces spp*

Ascosporas redondas de apariencia globosa, su pseudomicelio es alargado y con puntos de constricción entre las mismas y producción secuencial manteniéndose unidas sin separarse.

**Tabla 15.***Crecimiento y microscopía de Saccharomyces spp**Colonia vista superior**Colonia vista superior**Microscopía 40X*

Nota: la tabla muestra las estructuras fúngicas a nivel macro y microscópico del *Saccharomyces* spp

Aislamiento de hongos microscópicos:

**Tabla 16.***Número de aislamientos exitosos por área de estudio.*

<b>Municipio</b>	<b>Género</b>	<b>Número de aislamientos exitosos.</b>
Molagavita	<i>Botrytis</i> spp	3
	<i>Cladosporium</i> spp	0
	<i>Fusarium</i> spp	3
	<i>Aspergillus</i> spp	0
	<i>Alternaria</i> spp	0
	<i>Trichoderma</i> spp	2
	<i>Penicillium</i> spp	0
	<i>Saccharomyces</i> spp.	3
Concepción	<i>Mucor</i> spp	2
	<i>Alternaria</i> spp	0
	<i>Botrytis</i> spp	3
Carcasí	<i>Fusarium</i> spp	2
	<i>Botrytis</i> spp	3

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Nota: La tabla muestra el número de aislamientos exitosos que se obtuvieron de los hongos encontrados en la fase 1.

**Respuesta al objetivo de caracterizar los macrohongos asociados al (*Quercus humboldtii* Bonpl) en los municipios de Molagavita, Carcasí y Concepción, Santander**

Se realizaron un total de 103 colecciones, distribuidas en los tres municipios de estudio, dónde se registró la presencia de 2 filos, 11 órdenes, 17 familias, 23 géneros y 28 especies distribuidas en las áreas de estudio, además se obtuvieron 9 registros nuevos para el departamento de Santander.

De la caracterización de macrohongos en el robledal de Molagavita se obtuvieron las categorías taxonómicas de 2 filos, 7 órdenes, 11 familias y 14 especies, siendo el orden que mayor cantidad de familias y especies presentó el orden Agaricales con un total de 4 familias y 6 especies.

**Tabla 17.**

*Listado de filo, ordenes, familias y especies de macrohongos encontrados en Molagavita.*

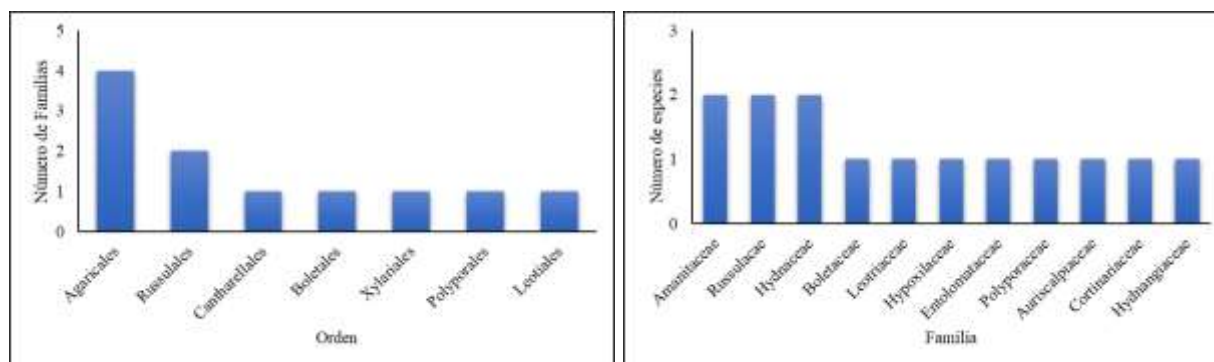
Filo	Orden	Familia	Especies
<i>Ascomycota</i>	<i>Leotiales</i>	<i>Leotriaceae</i>	<i>Leotia lubrica</i>
	<i>Xylariales</i>	<i>Hypoxilaceae</i>	<i>Hypoxylon</i> sp.
<i>Basidiomycota</i>	<i>Agaricales</i>	<i>Amanitaceae</i>	<i>Amanita flavoconia</i>
			<i>Amanita</i> sp1
		<i>Cortinariaceae</i>	<i>Cortinarius violaceus</i>
		<i>Entolomataceae</i>	<i>Entoloma</i> sp.
		<i>Hydnangiaceae</i>	<i>Laccaria laccata</i>
	<i>Boletales</i>	<i>Boletaceae</i>	<i>Leccinum</i> sp.
	<i>Polyporales</i>	<i>Polyporaceae</i>	<i>Lentinus scleropus</i> .
	<i>Russulales</i>	<i>Auriscalpiaceae</i>	<i>Artromyces pyxidatus</i>
		<i>Russulaceae</i>	<i>Russula emetica</i>
			<i>Lactifluus deceptivus</i>
<i>Cantharellales</i>	<i>Hydnaceae</i>	<i>Craterellus boyacensis</i>	
<i>Cantharellales</i>	<i>Hydnaceae</i>	<i>Craterellus cornucopioides</i>	

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Nota: La tabla presenta los hallazgos de macrohongos hechos en Molagavita Santander en cada categoría taxonómica.

**Figura 11.**

Número de familias por orden y número de especies por familia registrados en el municipio de Molagavita

**Tabla 18.**

Listado de filo, ordenes, familias y especies de macrohongos encontrados en Carcasí.

Filo	Orden	Familia	Especies
Ascomycota	Pezizales	Helvellaceae	<i>Helvella macropus</i>
	Hylariales	Hypoxilaceae	<i>Hypoxylon sp.</i>
Basidiomycota	Agaricales	Amanitaceae	<i>Amanita flavoconia</i>
		Hydnangiaceae	<i>Laccaria laccata</i>
		Hymenogastraceae	<i>Gymnopilus luteofolius</i>
		Lycoperdonceae	<i>Lycoperdon fuligineum</i>
			<i>Lycoperdon sp.</i>
	Gomphales	Gomphaceae	<i>Ramaria formosa</i>
	Polyporales	Polyporaceae	<i>Lentinus scleropus</i>
	Russulales	Russulaceae	<i>Russula emetica</i>
	Thelephorales	Thelephoraceae	<i>Thelephora sp.</i>
	Cantharellales	Hydnaceae	<i>Cantharellus lateritius</i>
	Hydnaceae	<i>Craterellus cornucopioides</i>	

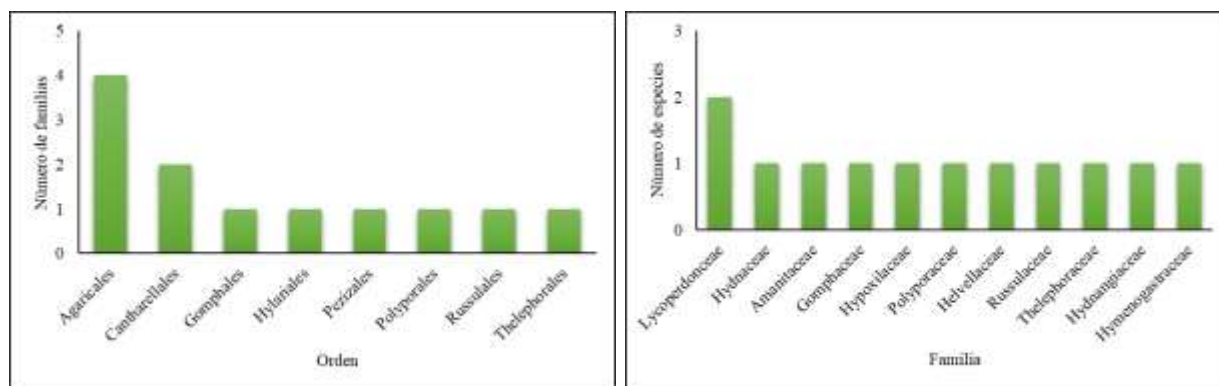
Nota: La tabla presenta los hallazgos de macrohongos hechos en Carcasí Santander en cada categoría taxonómica.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Los datos del municipio de Carcasí fueron similares a los del municipio de Molagavita, ya que también se encontraron 2 filos, sin embargo, este presenta un orden más que Molagavita, y Molagavita lo supera por 1 especie, en este caso el orden Agaricales sigue siendo el más diverso con un total de 4 familias y 5 especies.

**Figura 12.**

*Número de familias por orden y número de especies por familia registrados en el municipio de Carcasí.*



En Concepción a pesar de que los filos se mantienen se puede evidenciar una reducción en el número de órdenes ya que, a diferencia de Molagavita y Carcasí, este presenta 4 órdenes, además se evidencia un menor número de familias y especies con un total de 8 familias y 10 especies.

**Tabla 19.**

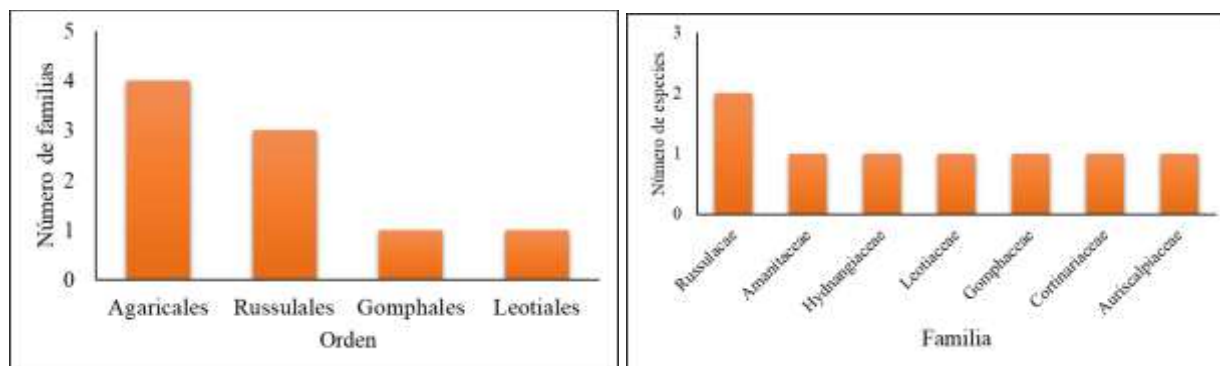
Listado de filo, ordenes, familias y especies de macrohongos encontrados en Concepción.

Filo	Orden	Familia	Especie
Ascomycota	Leotiales	Leotiaceae	<i>Leotia lubrica</i> (Scop.) Pers
Basidiomycota	Hydnaceae	Cantharellales	<i>Hydnum repandum</i> L.
		Gomphales	<i>Ramaria formosa</i>
	Agaricales	Hydnangiaceae	<i>Laccaria amethystina</i> Cooke
		Cortinariaceae	<i>Cortinarius violaceus</i>
		Hydnangiaceae	<i>Laccaria amethystina</i> Cooke
		Amanitaceae	<i>Amanita flavoconia</i>
	Russulales	Auriscalpiaceae	<i>Artromyces pyxidatus</i>
		Russulaceae	<i>Russula emetica</i>
			<i>Lactifluus deceptivus</i>

Nota: La tabla presenta los hallazgos de macrohongos hechos en Concepción Santander en cada categoría taxonómica.

**Figura 13.**

Número de familias por orden y número de especies por familia registrados en el municipio de Concepción.



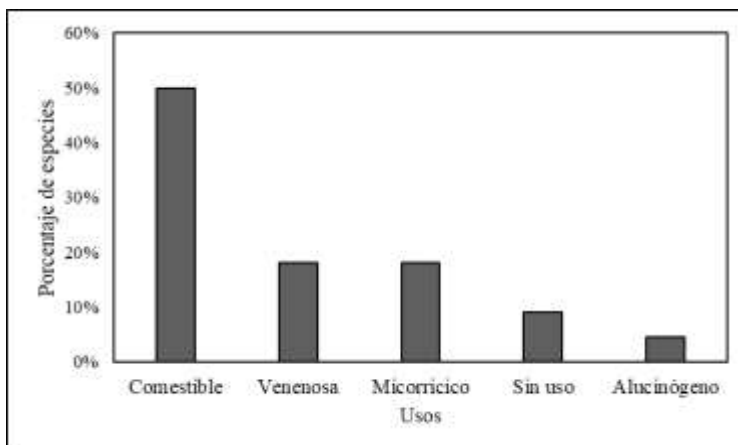
La figura 14 muestra el 50% de las especies registradas tiene uso comestible destacando la presencia de *Lactifluus deceptivus* y *Craterellus cornucopioides* siendo los más apetecidos en el

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

sector culinario, el 18% venenosa y micorrícicos, 9% no registra un uso aparente y 5% alucinógenos.

**Figura 14.**

*Porcentaje de especies según su uso.*



**Respuesta al objetivo de evaluar los patrones de respuesta espectral y su relación con el estado fitosanitario del dosel en individuos de (*Quercus humboldtii* Bonpl), en los municipios de Molagavita, Carcasí y Concepción, Santander.**

Los valores de los índices NDVI (Índice vegetación de diferencia normalizada) y NDRE (Índice Normalizado Diferencial de Borde Rojo) van desde -1 a 1, donde valores ( $< 0$ ) no presentan vegetación, (0,01 – 0,2) la vegetación con baja densidad (0,2 – 0,4) vegetaciones medias y ( $> 0,5$ ) vegetaciones densas o altas.

Para casos de estudio los valores de cada índice de vegetación fueron modificados tomando como base la presencia de claros con vegetación y sin vegetación, herbazal, árboles enfermos y árboles sanos de acuerdo con la respuesta espectral de cada cobertura (Tabla 20).

**Tabla 20.***Índices de vegetación modificados para el estudio.*

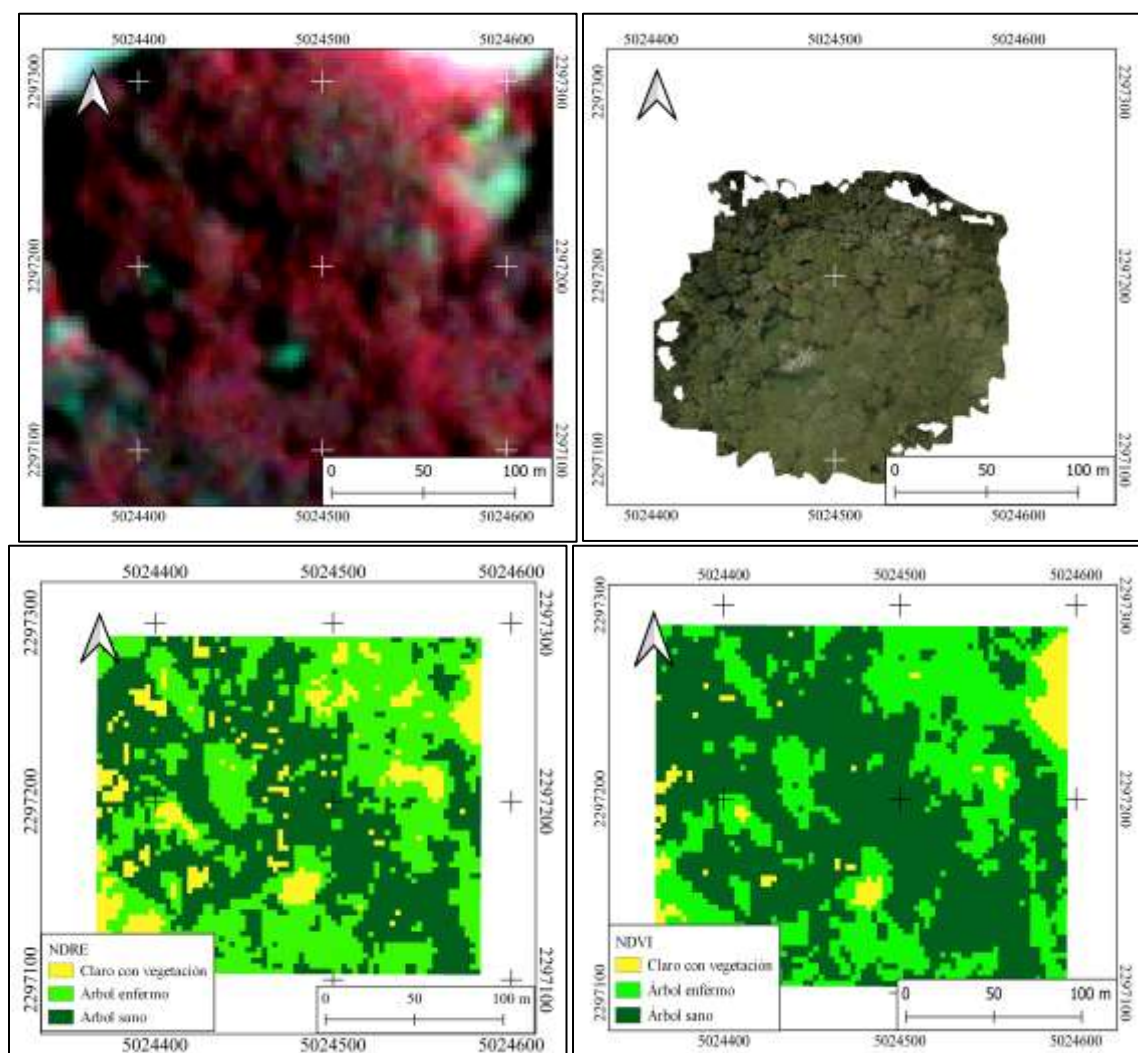
Municipio	Rangos NDVI	Rangos NDRE	Categoría
Molagavita	0.7063 - 0.8032	0.4241 - 0.5229	Claro con vegetación
	0.8032 - 0.9001	0.5229 - 0.6217	Árbol enfermo
	0.9001 - 0.9970	0.6217 - 0.7206	Árbol sano.
Carcasí	0.5505 - 0.6566	0.3900 - 0.4975	Claro sin vegetación
	0.65665 - 0.7628	0.4975 - 0.6051	Claro con vegetación
	0.76280 - 0.86895	0.6051 - 0.7127	Árbol sano
	0.86895 - 0.97510	0.7127 - 0.8203	Árbol enfermo
Concepción	0.27721 - 0.44195	0.1723 - 0.3075	Pastizal
	0.44195 - 0.6066	0.3075 - 0.4427	Herbazal
	0.6066 - 0.7714	0.2247 - 0.5779	Árbol enfermo
	0.7714 - 0.9361	0.5779 - 0.7130	Árbol sano

Nota: La tabla muestra los valores de las categorías según la clasificación de los índices.

El bosque de robledal del municipio de Molagavita se encuentra a una altura de 2947 m s.n.m, los árboles cuentan con una altura promedio de 17 metros y un DAP promedio de 0.25 m, el sotobosque está dominado por especies como el encenillo (*Weinmannia* sp), silvo silvo (*Hedyosmun* sp) y plantas de la familia melastomatace. El área total evaluada fue de 4.04 ha, donde 0.48 ha pertenecen a claros con vegetación, 1.71 ha a árboles enfermos y 1.85 ha a árboles sanos, los valores se calcularon teniendo en cuenta el índice NDRE.

**Figura 15.**

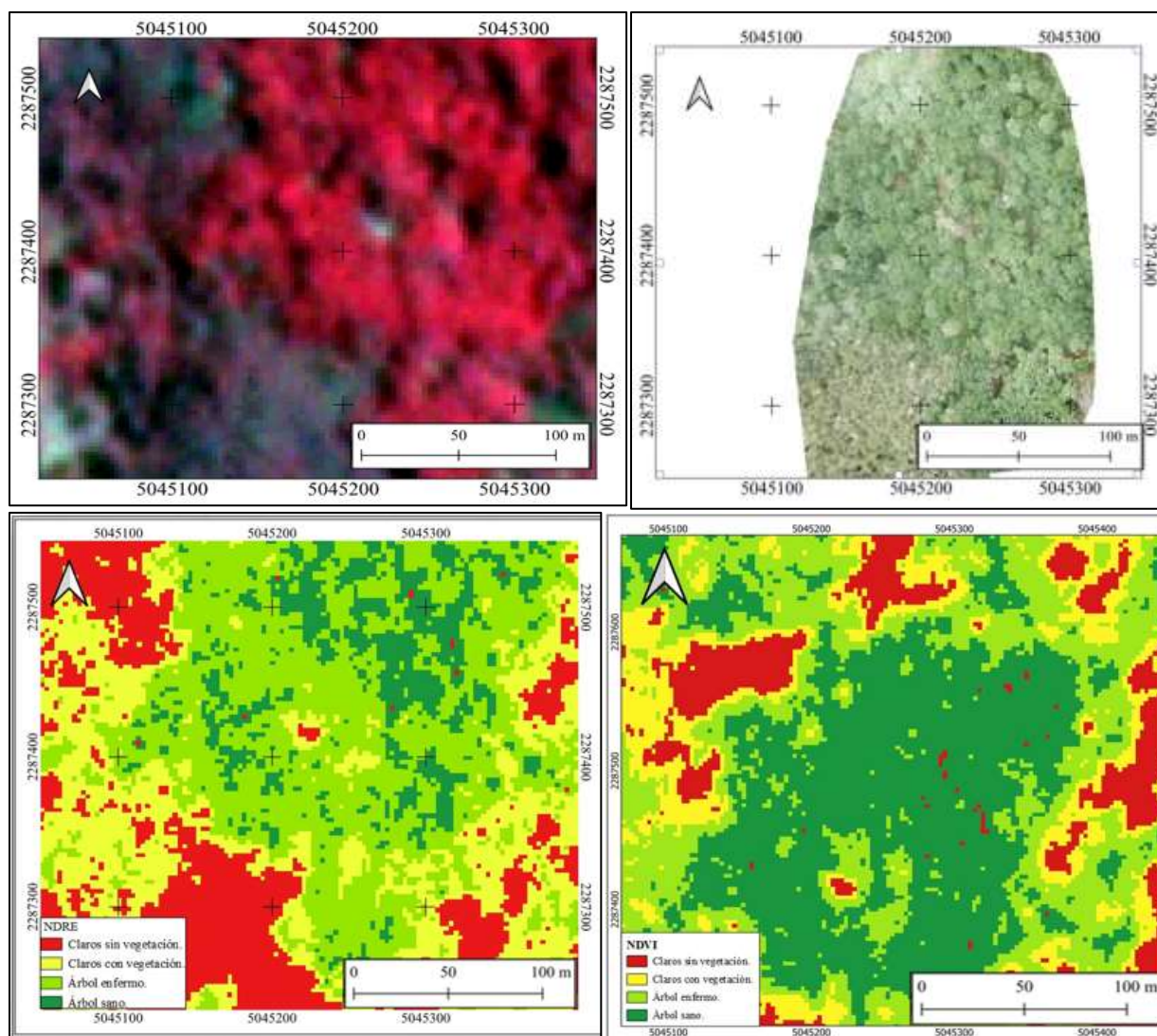
Imagen satelital combinación RGB 864, Ortomosaico e índices de vegetación, Molagavita.



El bosque de Carcasí se ubica a una altura de 2671 m s.n.m, los robles presentan una altura promedio de 15 m y un DAP de 0.19 m, en el sotobosque se encuentra principalmente especies como los helechos. A diferencia del bosque de Molagavita este presenta una cobertura de claros sin vegetación con un área de 0.41 ha, claros con vegetación 0.49 ha, presencia de árboles enfermos 4.63 ha y árboles sanos 4.29 ha, para un total de 9.82 ha evaluadas.

**Figura 16.**

Imagen satelital combinación RGB 864, Ortomosaico e índices de vegetación, Carcasí.



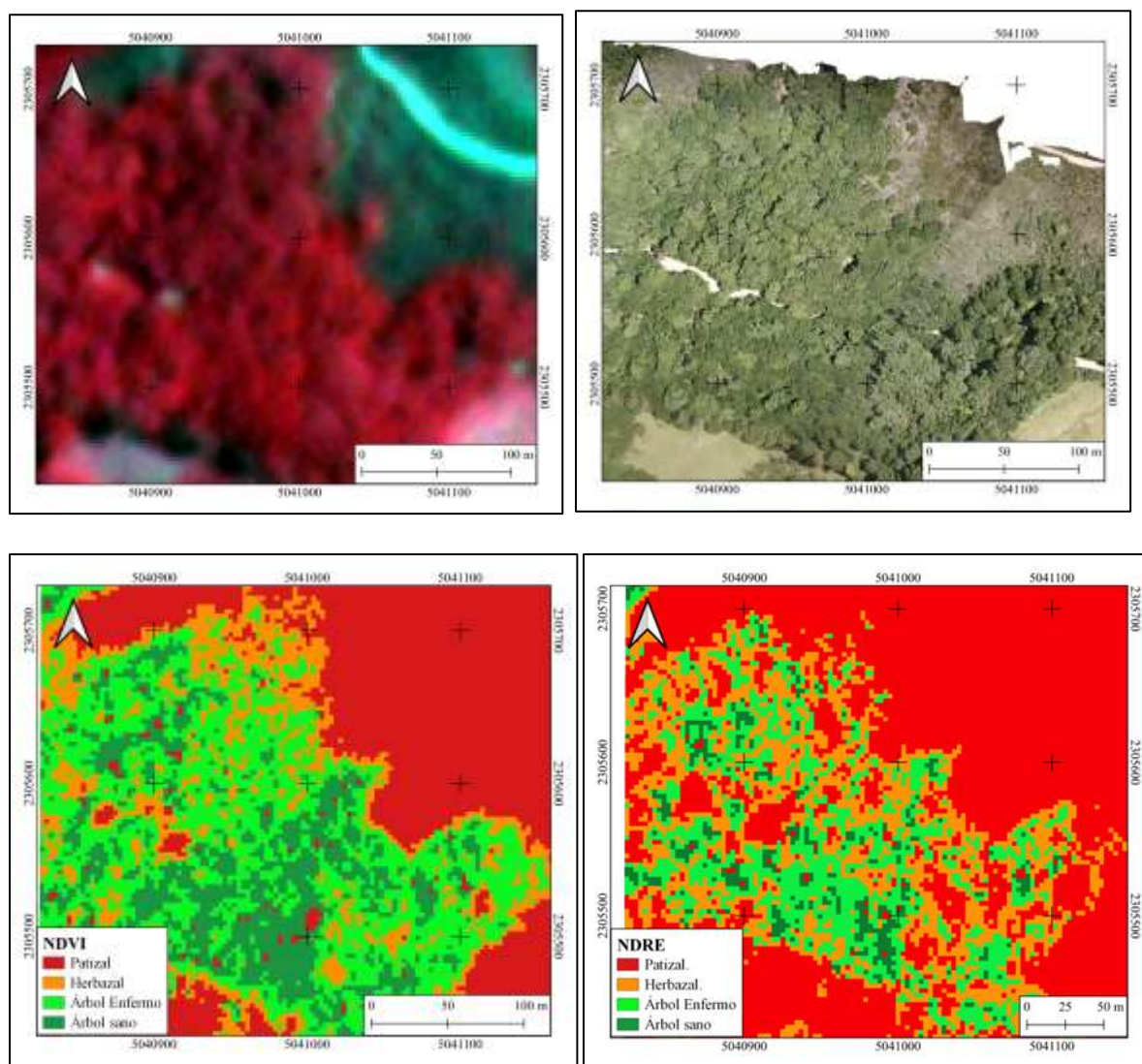
El bosque de Concepción es un bosque ubicado a 3,200 m s.n.m, se pudo evidenciar en las visitas técnicas y mediante tomas aéreas que es un bosque a transición al páramo, por lo que presenta dentro de su clasificación la presencia de herbazales, la predominancia de robledales se encuentra en la categoría brinzal con un promedio de DAP de 0.32 y una altura promedio de 10 m, en su sotobosque se encuentra la especie pino colombiano *Podocarpus oleifolius*.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Estas características permitieron encontrar coberturas de pastizales con un área de 6 ha, herbazales con 2.96 ha, árboles enfermos 2.17 ha, árboles sanos 4.49 ha para un total de 15.62 ha

**Figura 17.**

*Imagen satelital combinación RGB 864, Ortomosaico e índices de vegetación, Concepción.*



Después de realizar la correlación de Pearson se determinó que la correlación entre los índices espectrales y la distribución de daños para los 40 individuos evaluados en campo

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

por área de estudio es débil, por lo que se recurre a la realización de la matriz Kappa y el análisis estadístico de los índices de vegetación para cada área de estudio.

**Tabla 21.**

Valores de correlación de Pearson para las áreas de estudio.

<b>Molagavita</b>		<b>Carcasí</b>		<b>Concepción</b>	
<b>NDVI</b>	<b>NDRE</b>	<b>NDVI</b>	<b>NDRE</b>	<b>NDVI</b>	<b>NDRE</b>
0.14	0.02	0.19	0.18	0.35	0.26

La tabla presenta los valores de correlación de Pearson entre el porcentaje de afectación y la respuesta espectral.

Los valores estadísticos nos permitieron conocer la distribución de los datos, analizando principalmente la variación entre los índices de vegetación en cada uno de los robledales.

En cuanto a los índices de vegetación para cada una de las áreas de estudio los valores del coeficiente de variación del NDRE fueron mayores que para el NDVI, demostrando que el NDRE presenta mayor sensibilidad ante las diferentes coberturas, así mismo, el gráfico de cajas y bigotes nos permite apreciar que el índice NDVI en los municipios de Molagavita y Concepción presentaron valores atípicos (Figura 18).

Por otra parte, la matriz kappa permitió determinar la concordancia entre la clasificación de las coberturas y los datos tomados en campo.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.**Tabla 22.***Estadísticas de Índices de vegetación, Molagavita.*

<b>Variable estadística</b>	<b>NDVI</b>	<b>NDRE</b>
Valor mínimo	0.70	0.42
Valor máximo	0.99	0.72
Rango	2.26	0.22
Valor medio	2.53	0.61
Desviación estándar	0.59	0.02

*Nota:* La tabla presenta los valores estadísticos para cada uno de los índices en el municipio de Molagavita Santander.

**Tabla 23.***Matriz Kappa índice NDVI, Molagavita.*

<b>Clases</b>	<b>Claros con vegetación</b>	<b>árbol enfermo</b>	<b>arbol sano</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Error de comisión</b>
<b>Claros con vegetación</b>	27	8	0	35	8
<b>árbol enfermo</b>	4	64	32	100	36
<b>árbol sano</b>	0	3	27	30	3
<b>TOTAL</b>	31	75	59	<b>165</b>	
<b>Error de omisión</b>	4	11	32		
<b>Clases</b>	<b>Error de comisión</b>	<b>Error de omisión</b>	<b>Precisión global</b>	<b>Precisión global %</b>	<b>K</b>
<b>Claros con vegetación</b>	23%	13%	0.72	72%	67%
<b>Árbol enfermo</b>	36%	15%			
<b>Árbol sano</b>	10%	54%			

*Nota:* La tabla presenta la matriz kappa con el diagnóstico realizado en campo para el municipio de Molagavita aplicando el índice NDVI.

*Nota:* La tabla presenta la relación de los valores del diagnóstico y la matriz kappa obtenidos para el municipio de Molagavita Santander aplicando el índice NDVI.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.**Tabla 24.***Matriz Kappa índice NDRE, Molagavita.*

Clases	Claros con vegetación	Árboles enfermos	árboles sanos	TOTAL	Error de comisión
Claros con vegetación	30	5	0	35	5
Árboles enfermos	8	78	14	100	22
árboles sanos	0	5	25	30	5
<b>TOTAL</b>	38	88	39	165	
<b>Error de omisión</b>	8	10	14		
<b>Proporción global</b>			81%		
<b>Proporción esperada</b>			38%		
<b>K</b>			69%		
Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	K
Claros con vegetación	14%	21%	0,81	81%	69%
Árbol enfermo	22%	11%			
Árbol sano	16%	35%			

*Nota:* La tabla presenta la matriz kappa con el diagnóstico realizado en campo para el municipio de Molagavita aplicando el índice NDRE.

**Tabla 25.** *Estadísticas de Índices de vegetación, Carcasí.*

Variable estadística	NDVI	NDRE
Valor mínimo	0.55	0.39
Valor máximo	0.97	0.82
Rango	0.42	0.43
Valor medio	0.86	0.64
Desviación estándar	0.61	0.07

*Nota:* La tabla presenta los valores estadísticos para cada uno de los índices en el municipio de Carcasí Santander.

**Tabla 26.***Matriz Kappa índice NDVI, Carcasí.*

<b>Clase</b>	<b>claros sin vegetación</b>	<b>claros con vegetación</b>	<b>Árboles sanos</b>	<b>Árboles enfermos</b>	<b>Total</b>	<b>Error de comisión</b>
<b>Claros sin vegetación</b>	1	0	1	0	2	0
<b>Claros con vegetación</b>	1	0	1	0	2	0
<b>sanos</b>	0	0	102	48	150	48
<b>Enfermos</b>	0	0	0	30	30	0
<b>TOTAL</b>	2	0	104	78	184	
<b>Error de omisión</b>	0	0	2	48		
<b>Proporción global</b>	73%					
<b>Proporción esperada</b>	53%					
<b>K</b>	74%					
<b>Clases</b>	<b>Error de comisión</b>	<b>Error de omisión</b>	<b>Precisión global</b>	<b>Precisión global %</b>	<b>K</b>	
<b>Claros sin vegetación</b>	0	0	0.72	72	74%	
<b>Claros con vegetación</b>	0	0				
<b>sanos</b>	10%	19%				
<b>Enfermos</b>	26%	61%				

*Nota:* La tabla presenta el resultado de la relación de los valores del diagnóstico y la matriz kappa obtenidos para el municipio de Carcasí Santander aplicando el índice NDVI.

Tabla 27.

Matriz Kappa NDRE, Carcasí.

Clases	Claros sin vegetación	Claros con vegetación	Árboles sanos	Árboles enfermos	TOTAL	Error de comisión
Claros sin vegetación	1	0	0	1	2	0
Claros con vegetación	0	1	0	1	2	0
sanos	0	0	25	5	30	5
Enfermos	0	0	16	134	150	16
<b>TOTAL</b>	1	1	41	141	184	
Error de omisión	0	0	16	7		
Proporción global			88%			
Proporción esperada			66%			
K			65%			
Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	K	
Claros sin vegetación	0	0	0.88	88%	65%	
Claros con vegetación	0	0				
Árboles sanos	86%	39%				
Árboles enfermos	38%	4%				

Nota: La tabla presenta la matriz kappa con el diagnóstico realizado en campo para el municipio de Carcasí aplicando el índice NDRE.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.**Tabla 28.***Estadísticas de Índices de vegetación, Concepción.*

Variable estadística	NDVI	NDRE
Valor mínimo	0.2418	0.1476
Valor máximo	0.9515	0.755
Rango	0.7097	0.607
Valor medio	0.8116	0.566
Desviación estándar	0.1067	0.012

*Nota:* La tabla presenta los valores estadísticos para cada uno de los índices en el municipio de Concepción Santander.

**Tabla 29.***Matriz Kappa NDVI, Concepción.*

Clases	Pastizal	Herbazal	Árbol enfermo	Árbol sano	TOTAL	Error de comisión
Pastizal	10	5	0	0	15	5
Herbazal	15	35	32	0	82	47
Árbol enfermo	0	2	25	3	30	5
Árbol sano	0	0	0	23	23	0
<b>TOTAL</b>	25	42	57	26	<b>150</b>	
Error de omisión	15	7	32	3		
Proporción global			62%			
Proporción esperada			27%			
<b>K</b>			48% Moderada			
Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	<b>K</b>	
Pastizal	33%	6%	0.62	62%	48%	
Herbazal	57%	16%				
Árbol enfermo	0.166	0,56				
Árbol sano	0	0,11				

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

*Nota:* La tabla presenta la matriz kappa con el diagnóstico realizado en campo para el municipio de Concepción aplicando el índice NDVI.

**Tabla 30.**

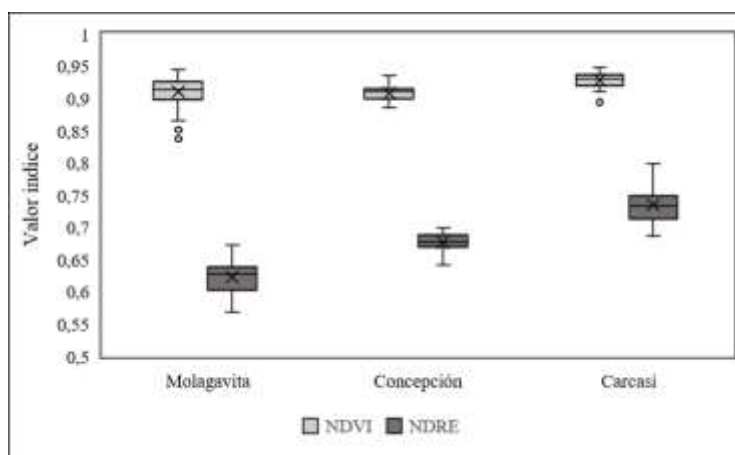
*Matriz Kappa NDRE, Concepción.*

Clases	Pastizal	Herbazal	Árbol enfermo	Árbol sano	TOTAL	Error de comisión
<b>Pastizal</b>	6	9	0	0	15	9
<b>Herbazal</b>	19	33	30	0	82	49
<b>Árbol enfermo</b>	0	3	27	0	30	3
<b>Árbol sano</b>	0	0	3	20	23	3
<b>TOTAL</b>	25	45	60	20	150	
<b>Error de omisión</b>	19	12	33	0		
<b>Proporción global</b>	57%					
<b>Proporción esperada</b>	28%					
<b>K</b>	41% Moderada					
Clases	Error de comisión	Error de omisión	Precisión global	Precisión global %	<b>K</b>	
<b>Pastizal</b>	60%	76%	0.573	57%	41%	
<b>Herbazal</b>	59%	26%				
<b>Árbol enfermo</b>	10%	55%				
<b>Árbol sano</b>	13%	0				

*Nota:* La tabla presenta la matriz kappa con el diagnóstico realizado en campo para el municipio de Carcasí aplicando el índice NDRE.

**Figura 18.**

Diagrama de cajas y bigotes de los índices NDVI y NDRE para cada una de las áreas de estudio.



Nota: El gráfico representa los valores de los índices para las áreas de estudio donde el NDVI presenta valores más altos de sanidad debido a la falta de la banda RED EDGE, siendo el NDRE más confiable debido a la presencia de dicha banda.

### Discusión

En la actualidad los robles (*Quercus humboldtii* Bonpl.) están limitados a pequeños fragmentos discontinuos degradados debido al aprovechamiento y la expansión agrícola. Afectados principalmente por agentes patógenos que alteran su fisiología, estructura, calidad, valor social y económico. Estas perturbaciones dan lugar a la aparición de transiciones abruptas entre el bosque natural y el medio degradado. La interacción que se produce entre los ecosistemas adyacentes resultantes corresponde al “efecto de borde”. Al constituir el área más alterada del hábitat fragmentado, los bordes ofrecen una puerta de entrada a los microorganismos patógenos, estos suelen atacar a las hojas de los individuos más jóvenes, en especial, las plántulas del sotobosque (Benítez, 2012).

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Según el diagnóstico sanitario en el estudio se hace visible que las parcelas de borde son las que presentan mayor afectación a comparación con las parcelas de interior debido a la intervención antrópica. En Chajul (Chiapas) se compararon plantas del interior del bosque con otras de los bordes. Estas, más expuestas, resultaron ser las más afectadas. Presentaban una mayor área foliar necrosada por hongos, así como un crecimiento más rápido de las manchas necróticas (Benítez, 2012). Esta teoría concuerda con la evaluación fitosanitaria realizada, ya que la mayoría de los daños registrados se encontraron en el follaje de los bosques estudiados.

Es importante afirmar que cerca del 75% de las patologías vegetales son ocasionadas por hongos quienes atacan a las plantas y llegan a causar daños leves o graves como la reducción de la tasa fotosintética por defoliación, debilitamiento del transporte vascular por la presencia de canchales en el fuste y la disminución de la absorción de agua y minerales por la pudrición en la raíz, lo que puede ocasionar la muerte de los árboles (Pildain y De Errasti, 2011, Benítez, 2012). En los bosques tropicales las interacciones entre las plantas y sus agentes patógenos como hongos, virus, nematodos y bacterias han recibido una atención muy limitada (Benítez, 2012). A pesar de que dichas patologías generan grandes afecciones a los ecosistemas, el nivel de información dirigido a organismos patógenos es muy escaso a nivel global, los cuales encuentran en el efecto de borde el escenario perfecto para su desarrollo y colonización (Thompson et al., 2014 y Benítez 2012).

Se evidenció que el comportamiento de los hongos patógenos está relacionado con el ambiente en el cual se desarrollan. La primera muestra colectada en época seca presentó una mejor respuesta frente a la colectada en época húmeda. Esto se debe a que hongos como *Aspergillus* spp se desarrollan principalmente en ambientes húmedos, pero con altas temperaturas, donde la primera siembra arrojó gran variedad de hongos. Sin embargo, en las siembras posteriores se logró apreciar cómo dichos hongos no aparecían o simplemente no crecían en el medio. Diversos autores

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

como es el caso de (Caro et al, 2014) mencionan que algunos patógenos como el caso de *Aspergillus spp* poseen mayor actividad metabólica a una temperatura de 37°C, lo que pudo afectar su desarrollo en las etapas tardías de la investigación; dado que las muestras finales fueron recogidas en un ambiente a una temperatura por debajo de los 20°. Estas variaciones pudieron ser el detonante de inhibición de otros patógenos como el caso de *Alternaria spp*, *Penicillium spp* y *Cladosporium spp* también encontrados en la primera siembra. Por lo que es recomendable realizar un análisis dirigido al comportamiento de estos hongos a diferentes temperaturas, teniendo en cuenta el género trichoderma para también evaluar su antagonismo a diferentes temperaturas como lo menciona (Vargas et al., 2012) en su artículo “actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* (fungi: ascomycota) a diferentes temperaturas”.

No obstante, muchos microorganismos encuentran condiciones óptimas de desarrollo a diferentes temperaturas y humedades; como es el caso de los robledales de Encino Santander, Arcabuco y Tipacoque Boyacá, (Monroy y Lizcano, 2010) en los cuales se encontraron patógenos como *Fusarium spp*, *Penicillium spp*, *Alternaria spp* y *Monillia spp*. Estos presentan una fuerte relación con signos y síntomas como el cribado, las manchas necróticas, el amarillamiento, los puntos necróticos, la clorosis, el tizón y la necrosis apical. Resultados similares con este estudio el cual registró la presencia de especies como *Alternaria spp*, *Penicillium spp*, *Botrytis spp* y *Fusarium spp*. Hongos asociados a los síntomas de mayor incidencia en los tres robledales evaluados que fueron las manchas y puntos necróticos (88%), el tizón (76%) y las pústulas (58%).

Por otra parte, así como existen hongos que alteran la salud de las plantas, también existen otros que poseen múltiples beneficios, siendo uno de los más comunes el *Trichoderma spp* que puede ser utilizado como controlador biológico. En nuestro estudio, algunas cepas de *Trichoderma spp* se hicieron presentes, además donde crecieron dichas cepas no se obtuvo ningún otro hongo

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

patógeno, por lo que es muy probable que este haya impedido el crecimiento de los patógenos encontrados. Sin embargo, es algo que no puede ser afirmado debido a que el estudio fue preliminar, es decir, que falta indagar más para poder llegar a esta afirmación. Por otra parte, diversos estudios han demostrado que *Trichoderma* spp tiene potencial como controlador biológico. Como es el caso de (Merchán et al 2014) quienes en su estudio de evaluación de aislados de *Trichoderma* spp para la evaluación de control biológico de *Botrytis cinérea* y la calidad de fruto en fresa, se evidenció una disminución significativa (32%) en el desarrollo de *B. cinérea* en la planta con aplicación de tratamientos de *T. harzianum* y *T. lignorum*.

Al igual que los microhongos, los macrohongos han sido muy poco estudiados en el planeta, donde un número notable de basidiomicetos y ascomicetos ectomicorrícicos han establecido simbiosis con aproximadamente 6.000 especies de árboles, incluidos los robles (Martín et al., 2016). Las asociaciones ectomicorrizas confieren a sus integrantes servicios como la participación fundamental en el ciclaje de nutrientes, la transferencia de Carbón desde la planta hospedera, promoción de la estructura y química del suelo por efecto de las hifas. Sin embargo, la investigación realizada hasta ahora ha sido principalmente de naturaleza taxonómica y rara vez ecológica/conservadora o que involucre la relación entre hongos y bosques. Así, López et al., 2007 registraron en su estudio que el orden que mayor número de familias presentó fue el orden agaricales. Esto concuerda con los resultados del presente estudio. Es importante mencionar lo dicho por Putzke et al., 2021 quienes consideran que en Colombia muchas de las especies de agaricales únicamente son encontradas en el país y algunas son exclusivas de la región de los Andes. Teniendo en cuenta dicha exclusividad, es importante mencionar el hecho de que para Santander se obtuvieron 9 nuevos registros en este estudio realizado en relictos de bosque. Por lo tanto, se evidencia que estos ecosistemas altoandinos son una gran bodega que debe ser abierta

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

con el fin de impulsar la economía campesina, sin necesidad de generar alteraciones al bosque. Es decir que los productos forestales no maderables pueden ser una fuente viable de ingreso para las comunidades campesinas, donde el 50% de los hongos caracterizados en la investigación son comestibles, y los demás poseen bondades que merecen ser estudiadas.

Por otro lado, la tecnología de imágenes satelitales ha revolucionado la forma en que se evalúan y gestionan los bosques. Esta forma innovadora ha hecho posible el monitoreo de los bosques desde una perspectiva global, lo que a su vez ha permitido el mapeo y análisis de precisión de la salud y vitalidad de la vegetación. Estudios previos definieron que el uso de imágenes multiespectrales como método de respuesta a las enfermedades es muy útil. Como es el caso de (Macías et al., 2022) quienes en su estudio aplicaron el índice NDVI para imágenes con un total de 8 bandas en diferentes modificaciones. Y de los individuos evaluados el 78.11% de los árboles perennes tuvo una respuesta espectral negativa, por ende, fueron declarados enfermos. A pesar de esto se menciona que es necesario tomar un mayor número de especies e individuos para que la evaluación sea más acertada, ya que la matriz kappa presenta variaciones dependiendo del tipo de cobertura que se trabajó.

Así mismo, (Everitt y Escobar, 1999), realizaron una serie de investigaciones dirigidas a analizar la enfermedad de marchitez presente en el roble, donde los resultados mostraron que las imágenes digitales de color infrarrojo (CIR) pueden ser una herramienta útil para detectar la enfermedad del marchitamiento del roble en robles vivos. Aunque la imagen digital no tiene la resolución detallada de la fotografía, proporciona claramente un reconocimiento definitivo de las características y condiciones de los árboles. Además, es de calidad adecuada para evaluar y distinguir los árboles afectados y muertos de los árboles sanos. Ligeras diferencias tonales entre la

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

imagen digital y la fotografía se atribuyen a la codificación electrónica digital frente a las capas de emulsión de la película, debido a que valores medios de reflectancia de la luz para hojas de ramas sanas, marchitas y muertas de roble vivo en tres longitudes de onda, los valores de reflectancia fueron significativamente diferentes.

En ese orden de ideas se puede afirmar que la resolución de la imagen es muy baja al igual que el número de individuos diagnosticados. Por lo tanto, para llegar a hacer una correlación entre las imágenes satelitales y la evaluación sanitaria es necesario tomar imágenes de mejor resolución y evaluar una mayor cantidad de individuos. Dichas imágenes son adecuadas para trabajar con grandes áreas de diferentes coberturas, pero cuando reducimos la imagen, o mejor dicho trabajamos a una escala más pequeña, se generan variaciones lo que puede ser solucionado con la ayuda de UAVs e inteligencia LiDAR, que pueden escanear los árboles de una manera más cercana y acertada, aunque desafortunadamente son tecnologías muy costosas. A pesar de esto, se pudo evidenciar que en los tres sitios el porcentaje más alto pertenece a la cobertura de árboles enfermos, e independientemente de que no se obtuvo correlación con los datos tomados en campo la matriz Kappa indica que las clasificaciones fueron pertinentes debido a los niveles de concordancia que varían en los rangos de moderada a buena (55% -77%). Por lo tanto, se puede contemplar la idea de que si bien los árboles denominados enfermos no entraron todos en esta categoría, y que de los marcados como sanos algunos reflejan enfermedad esto puede estar relacionado con características como el error del GPS, variaciones en la imagen o quizás lecturas erradas del espectro debido a la distancia de la tierra.

### Conclusiones

- Aunque en ningún caso se ha demostrado que los hongos patógenos encontrados (*Fusarium* spp, *Botrytis* spp) causen enfermedades graves a corto plazo en *Quercus humboldtii*, los resultados evidencian que los hongos microscópicos generan afectaciones en condiciones de estrés en los árboles aledaños al borde del bosque.
- Los resultados del diagnóstico apuntan a la necesidad de estructurar planes de manejo y control fitosanitario en bosques naturales, donde *Trichoderma* spp podría ser una alternativa viable como controlador biológico de hongos patógenos, disminuyendo los efectos y los tensionantes que afectan la salud de los bosques.
- A pesar del poco interés en investigaciones de macrohongos, en las áreas de estudio, existe un gran potencial de aprovechamiento sostenible como PFNM en relictos de bosques de García Rovira y una opción viable para mejorar la economía de las comunidades campesinas. En el estudio se encontraron 9 registros nuevos para Santander
- Las imágenes satelitales son un recurso útil a la hora de estudiar el comportamiento de los bosques. Aunque en la investigación se obtuvo una correlación débil entre las variables de estudio, la matriz Kappa muestra una concordancia que podría estar relacionada con el diagnóstico sanitario realizada en los 120 individuos evaluados.

### Recomendaciones

- Realizar pruebas bioquímicas y moleculares para determinar con exactitud las especies de hongos patógenos asociados a los daños de los robledales de los sitios de estudio.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

- Aumentar el número de árboles diagnosticados si se desea un mejor contraste entre el nivel de enfermedad de los robles y la respuesta espectral.
- Hacer una exploración detallada de macrohongos en García Rovira como alternativa sostenible para las comunidades y para complementar los vacíos de información.
- Realizar un análisis completo de *Stigmacoccus asper*, incluyendo su ciclo de vida, su comportamiento y las relaciones con la fumagina presente en los robledales de García Rovira.

### Referencias bibliográficas

Andrew, C., Diez, J., James, T. Y., & Kauserud, H. (2019). Fungarium specimens: a largely untapped source in global change biology and beyond. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374 (1763), 20170392. DOI:10.1098/rstb.2017.0392.

Avella, A y Cárdenas, L. (2010). Conservación y uso sostenible de los bosques de roble en el corredor de conservación Guantiva - La Rusia - Iguaque, departamentos de Santander y Boyacá, Colombia. *Colombia Forestal*, 13 (1), 5-26. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2010.1.a01>

Benítez, J. (2012). Hongos patógenos en la selva. *Investigación y ciencia*, 36-42.

Campbell, J y Wynne, R. (2011). *Introducción to remote sensing* (4. edición.). New York: The Guilford Press.

Caro C. y León A. (2014). Inhibición del crecimiento de *Aspergillus ochraceus*. *VITAE*, Revista de la facultad de química farmacéutica, 191-200.

Cepero de G., Restrepo, R. Franco, M. Cárdenas, T. Vargas, E. (2012). *Biología de hongos*.

(1.edición.). Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Biológicas. [https://www.matorral.com.co/libro/biologia-de-hongos\\_34973](https://www.matorral.com.co/libro/biologia-de-hongos_34973)

Chamorro, F., Nates, G. y Kondo, T. (2013). Mielato de *Stigmacoccus asper* (Hemiptera: Stigmacoccidae): recurso melífero de bosques de roble en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(1), 61-70.

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-04882013000100012&lng=en&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882013000100012&lng=en&lng=es)

Chomnunti, P., Hongsanan, S., Aguirre, B., Tian, Q., Peršoh, D., Dhami, M., Alias, A., Xu, J., Liu, X., Stadler, M. y Hyde, K. (2014). The sooty moulds. *Fungal Diversity* 1-36. 66(1). DOI: 10.1007/s13225-014-0278-5

Corporación Autónoma Regional de Santander [CAS]. (2007). Estudio técnico para efectos de establecer áreas susceptibles de aprovechamientos forestales persistentes de impacto reducido para la especie roble (*Quercus humboldtii*) de acuerdo con la resolución 0096 de 2006.

Eisenbeiss, H., y Sauerbier, M. (2011). Investigation of UAV systems and flight modes for photogrammetric applications. *The Photogrammetric Record*, 26(136), 400-421. Everitt, J., Escobar, D., Appel, D., Riggs, W. y Davis, M. (1999). Using airborne digital imagery for detecting oak wilt disease. *Plant Dis.* 83:5.

Everitt, J y Escobar, D (1991). Using Airborne Digital Imagery for Detecting Oak Wilt Disease. *Plant Disease / Vol. 83 No. 6*

Franco, A., Corrales, A., y Vasco, A. (2010). Macrohongos de Colombia II. Listado de especies de los órdenes Agaricales, Boletales, Cantharellales y Russulales (Agaricomycetes, Basidiomycota). *Actualidades Biológicas*, 32 (92), 89-114. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/actbio/article/view/13805>

Giraldo, C., Mera, Y., Rivas, S., Muñoz, D., Acosta, L., Pérez, N., Villalba, J., & Ordóñez, A. (2022). Phytosanitary evaluation of *Juglans neotropica* and *Quercus humboldtii* in an urban

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

woodland of Popayán-Cauca, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(178), 169–181. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1542>

García, J. M. D.; Shagarodsky, T.; Fresneda, J. A.; Fundora, Y. H., y González, J. 2007. Caracterización de especies del género *Fusarium* en el cultivo del garbanzo (*Cicer arietinum*) en las provincias ciudad Habana y La Habana. *Temas de Ciencia y Tecnología* 32 (11), 63-66.

Gobernación de Santander. Plan de Desarrollo Departamental “Santander Gobierno de la gente 2012-2015. Tomado de:

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjPsKOav7r7AhUHUjABHf3zCSEQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fsantander.gov.co%2Floader.php%3FIService%3DTools2%26ITipo%3Ddescargas%26IFuncion%3Ddescargar%26idFile%3D12106&usq=AOvVaw1ca\\_D8O85ctVvtY\\_PAftyy](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjPsKOav7r7AhUHUjABHf3zCSEQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fsantander.gov.co%2Floader.php%3FIService%3DTools2%26ITipo%3Ddescargas%26IFuncion%3Ddescargar%26idFile%3D12106&usq=AOvVaw1ca_D8O85ctVvtY_PAftyy)

Gómez, M., Toro, J. y Piedrahita, C. (2013). Propagación y conservación de especies arbóreas nativas. Medellín Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA).

Jung, T., Hudler, G., Jensen, S., Griffiths, H., Fleischmann, F. Y Osswald. W. (2005). Involvement of *Phytophthora* species in the decline of European beech in Europe and the USA. *Mycologist* 19: 159-166

Kuar F., Castiglia V., Papinutti L. (2013). Reino Fungi: morfologías y estructuras de los hongos. *Revista boletín biológica n° 28 - 11-18.*

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Leslie, J.F. and Summerell, B.A. (2006) The Fusarium Laboratory Manual. Blackwell Publishing, Hoboken, 1-2. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>.

Martín, F., Kohler, A., Murat, C., Veneault, C y Hibbett, D. (2016). Unearthing the roots of ectomycorrhizal symbioses. *Nat Rev Microbiol* 14, 760–773. <https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.1038/nrmicro.2016.149>

Martínez, R. y Solís, G. (2018). Caracterización Espectral y Detección de Flecha Seca en Palma Africana en Puntarenas, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, N° 61, 349–377. <https://doi.org/10.15359/rgac.61-2.13>

Macías, A., Martínez, T., Valdez, J., Romero, M. y Vaquera, H. (2022). Evaluación de la salud del arbolado urbano a través de imágenes satelitales en Guadalajara, México. *Entreciencias diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 10(24). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81200>

Merchán, J. (2014). Efecto de dos cepas de *Trichoderma* en el control de *Botrytis cinerea* y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS*, 44-56.

Montalvo A. (2010), Microscopía. [https://bct.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2018/08/2\\_microscopia.pdf](https://bct.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2018/08/2_microscopia.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2006). Resolución 096 de 2006. Por la cual se modifican las resoluciones 316 de 1974 y 1408 de 1975, proferidas por el INDERENA, en relación con la veda sobre la especie Roble (*Quercus humboldtii*).

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Murace, M; Acosta, N y Aprea, A. (2011). Diagnóstico de enfermedades en vivero forestal: resultados preliminares.

Pildain, M. y de Errasti, A. (2011). Hongos patógenos de pinos en la Patagonia y su asociación con plagas entomológicas. ISSN 1851-4103.

Quevedo, E y Prato, A. (2020). Germinación de semillas de *Quercus humboldtii* Bonpl. (Fagaceae): especie vulnerable del bosque Altoandino. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(62), 157-164. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.792>

Putzke, J., Guillermo, L., Peña, E., Niño, E. y Chivatá, T. (2021). Madre Monte Natural Conservation Area in the Colombian Andes as Model for Preservation of Fungi in *Quercus humboldtii* Forests. *Biological and Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021210077>

Revelo, D., Mejía, J., Montoya, B., y Hoyos, J. (2020). Análisis de los índices de vegetación NDVI, GNDVI y NDRE para la caracterización del cultivo de café (*Coffea arabica*). <http://dx.doi.org/10.14482/inde.38.2.628>

Rivera, M y Wright, E. (2020). Apuntes de patología vegetal. Fundamentos y prácticas para la salud de las plantas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía. ISBN 978-987-3738-30-2

Thompson, S., Álvarez, P., Ternorh, J. y Katul, G. (2010). The effects of plant pathogens on tree recruitment in the Western Amazon under a projected future climate: a dynamical systems análisis. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01726.x>


DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

Vargas, H., Rueda, E., y Gilchrist E., (2012). Actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* (Fungi: Ascomycota) a diferentes temperaturas. In Actual Biol (Vol. 34, Issue 96).

Velasco., R. G. (s.f). Botrytis cinerea en el cultivo de Rosa híbrida en la zona florícola sur del Estado. *Universidad Autónoma del Estado de México*, 32.

## Apéndices

### Apéndice A. Formato Evaluación de signos y síntomas de *Quercus humboldtii* Bonpl.

		Evaluación de signos y síntomas de <i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.													
		Departamento												Altitud	
		Municipio												Fecha	
		Vereda												Área	
		Responsables													
Parcela	No.Ind	Nobre comun	Estrato	Enroscamiento	Mancha necrotica	Puntos necroticos	Tizon	Necrosis	Pustulas	Secreción	Fumagina	Clorosis	Cancros	Masticamiento	Pudrición

*Nota:* En el apéndice A se evidencia el formato en el cual se registró la presencia de signos y síntomas para cada uno de los individuos muestreados.

**Apéndice B. Evaluación de signos y síntomas**



Observación con binoculares



Secreción



Fumagina



Cancro



Pudrición



Observaciones al dosel



Observaciones al dosel



Evaluación de signos y síntomas



Georreferenciación de árboles

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE *Quercus humboldtii* Bonpl.

*Nota:* El apéndice B muestra las observaciones en campo y los signos y síntomas presentes en árboles de *Quercus humboldtii* Bonpl.

**Apéndice C. Recolección de macrohongos.**

Jornada de recolección.



Etiquetado y descripción de macrohongos.



Empaquetado de hongos.

*Laccaria lacata.**Gymnopilus luteofolius.**Lentinus scleropus.**Artomyces pyxidatus.**Lactarius atroviridis.**Cantharellus lateritius.*

*Lactarius chrysorrheus.**Craterellus curnucopioides.**Hydnum repandum.*

Desempaquetado de hongos.



Descripción en laboratorio.

deshidratación de estructuras  
fúngicas.

*Nota:* En el apéndice C se evidencian las etapas de recolección y caracterización de macrohongos.

#### Apéndice D. Recolección de muestras con signos y síntomas.



Etiquetado de árboles



Muestras de corteza con signos y síntomas.





Toma de muestras con signos y síntomas.

*Nota:* En el apéndice D se registra la toma de muestras de corteza para llevar a cabo la fase de laboratorio.

#### Apéndice E. Fase de laboratorio.



Lavado de instalaciones.

Esterilización con mechero.

Envoltura de material de vidrio

en papel craft.



Esterilización en horno a  
160°.



Montaje de la autoclave.

Pesaje de Agar de malta.



Medio esterilizado.

Dilución del medio de cultivo  
en agua destilada.



Distribución del medio  
preparado en cajas Petri



Esterilización de asas  
micológicas.



Siembra.



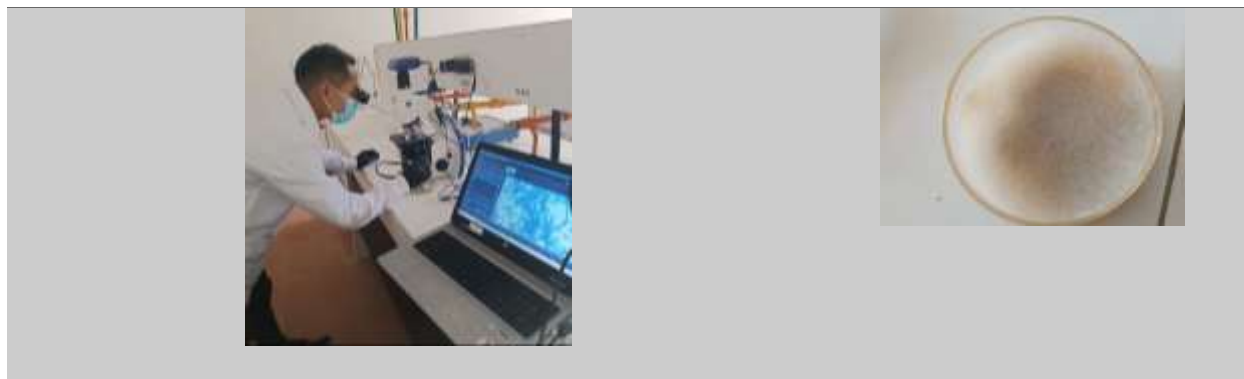
Cajas Petri etiquetadas.



Almacenamiento en incubadora



Microscopía.



Microscopía.

Aislamiento.

*Nota:* El apéndice E muestra cada una de las fases del laboratorio. Inicio de fase de laboratorio 17 agosto 2023.

### Apéndice F. Captura de imágenes con UAVs.



Programación de misión de vuelo.



Dron Mavic Pro.



Misión de vuelo.



Molagavita vista en vuelos con UAVs.



Carcasí vista en vuelos con UAVs.



Concepción vista en vuelos con UAVs.

*Nota:* En el apéndice F se evidencia la captura de imágenes con el uso de drones.