

COMPARACIÓN ENTRE LA SIMBIOSIS MICORRÍZICA ACTUAL Y LA PRESENTE EN EL AÑO 2016 ENTRE INDIVIDUOS DE ESCOBILLÓN ROJO (*Callistemon citrinus*) Y EL HONGO *Glomus sp* EN EL ÁREA COMÚN DE LA RESERVA DISTRITAL DE HUMEDAL SANTA MARÍA DEL LAGO

**KAREN VIVIANA BARRERA AGUIRRE
JEFREY HANS ELKIN CHAVERRA ROMAÑA**

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
2023**

Elaboro:

Fecha:

Reviso:

Fecha:

Aprobó:

Fecha:

**COMPARACIÓN ENTRE LA SIMBIOSIS MICORRÍZICA ACTUAL Y LA PRESENTE EN EL
AÑO 2016 ENTRE INDIVIDUOS DE ESCOBILLÓN ROJO (*Callistemon citrinus*) Y EL HONGO
Glomus sp EN EL ÁREA COMÚN DE LA RESERVA DISTRITAL DE HUMEDAL SANTA
MARÍA DEL LAGO**

**KAREN VIVIANA BARRERA AGUIRRE
JEFREY HANS ELKIN CHAVERRA ROMAÑA**

Documento final de la opción de grado

**FRANK JIMY GARCIA NAVARRETE
Asesor Académico**

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
2023**

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	7
1.1	PALABRAS CLAVES	7
2.	INTRODUCCIÓN	7
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
4.	OBJETIVOS	9
4.1	OBJETIVO GENERAL	9
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
5.	MARCO TEÓRICO.....	9
5.1	EL SUELO	9
5.1.1	SUELOS COLOMBIANOS (COBERTURAS)	10
5.1.2	COBERTURAS RDH SANTA MARÍA DEL LAGO.....	11
5.2	LOS HUMEDALES.....	14
5.2.1	CLASES DE HUMEDALES	14
5.2.2	RDH SANTA MARÍA DEL LAGO	16
5.3	FAMILIA MYRTACEAE	18
5.4	ESCOBILLÓN ROJO (<i>Callistemon citrinus</i>).....	19
5.4.1	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	22
5.4.2	UBICACIÓN SEGÚN COBERTURAS	23
5.5	SIMBIOSIS MICORRÍZICA.....	23
5.5.1	CLASIFICACIÓN DE LAS MICORRIZAS	24
5.6	HONGO MICORRÍZICO (<i>Glomus sp.</i>)	27
6.	DISEÑO METODOLOGICO	28
6.1	INSTALACIONES Y EQUIPOS.....	28
6.2	DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	29
6.3	MUESTREO	29
6.4	MÉTODO UTILIZADO PARA LA OBSERVACIÓN DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA 33	
6.5	MEDICIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA.....	35
6.6	OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE ESTRUCTURAS DEL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA ARBUSCULAR.....	36
6.7	PARÁMETROS AMBIENTALES.....	36
6.8	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO	37
7.	RESULTADOS ZONA COMÚN.....	39
7.1	OBSERVACIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA	39
7.2	MEDICIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA.....	39
7.3	OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ESTRUCTURAS DEL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA ARBUSCULAR	41
7.4	INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES	42

7.5 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO	44
8. RESULTADOS ZONA DE CONSERVACIÓN Y/O PRESERVACIÓN	47
8.1 OBSERVACIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA	47
8.2 MEDICIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA.....	47
8.3 OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ESTRUCTURAS DEL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA ARBUSCULAR	49
8.4 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES	52
8.5 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO DE PRESERVACIÓN.....	52
9. COMPARACIÓN	56
10. CONCLUSIONES	60
11. RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 UBICACIÓN ESPACIAL RDH SANTA MARÍA DEL LAGO	17
MAPA 2 DISTRIBUCIÓN DE LA TOMA DE MUESTRAS DE SUELO	31
MAPA 3 DISTRIBUCIÓN DE LA TOMA DE MUESTRAS DE RAÍZ.....	32
MAPA 4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALLISTEMON CITRINUS EN LA RDH SANTA MARIA DEL LAGO.....	33

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 ÁREA DE COBERTURAS DE HUMEDAL SANTA MARÍA DEL LAGO	13
TABLA 2 CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS VEGETALES RESERVA DISTRITAL DE HUMEDAL SANTA MARÍA DEL LAGO	13
TABLA 3 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS HUMEDALES	15
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CALLISTEMON CITRINUS.....	23
TABLA 5 CUADRO COMPARATIVO ENTRE TIPOS DE MICORRIZAS.....	26
TABLA 6 PARÁMETROS AMBIENTALES ZONA DE INFLUENCIA RDH.....	37
TABLA 7 PARÁMETROS AMBIENTALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA AEROPUERTO EL DORADO.....	43
TABLA 8 RESULTADOS DEL ANÁLISIS Q01 DEL SUELO DE LA RDH SANTA MARÍA DEL LAGO.....	45
TABLA 9 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE EN HÚMEDO Y SECO ÁREA COMÚN Y ÁREA DE PRESERVACIÓN.....	46
TABLA 10 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL ÁREA COMÚN Y ÁREA DE PRESERVACIÓN.....	46

TABLA 11 CÁLCULO DE LA POROSIDAD TOTAL ÁREA COMÚN Y ÁREA DE PRESERVACIÓN	47
TABLA 12 RESULTADOS DEL ANÁLISIS Q01 DEL SUELO DE LA RDH SANTA MARÍA DEL LAGO ZONA DE PRESERVACIÓN	52
TABLA 13 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE EN HÚMEDO Y SECO ÁREA COMÚN Y ÁREA DE PRESERVACIÓN.....	53
TABLA 14 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL ÁREA COMÚN Y ÁREA DE PRESERVACIÓN.....	54
TABLA 15 CÁLCULO DE LA POROSIDAD TOTAL ÁREA COMÚN Y ÁREA DE PRESERVACIÓN	54
TABLA 16 ASPECTOS GENERALES DE COMPARACIÓN	56

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE MICORRIZA EN LA ZONA COMÚN.....	41
GRÁFICA 2 FLUCTUACIÓN DE PRECIPITACIÓN 15 DÍA PREVIOS Y 15 DÍAS POSTERIORES DEL DÍA DE TOMA DE MUESTRAS VEGETALES	44
GRÁFICA 3 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN DE MICORRIZA EN LA ZONA DE PRESERVACIÓN.....	49

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 COBERTURAS SUELO RESERVA DISTRITAL DE HUMEDAL SANTA MARÍA DEL LAGO	11
ILUSTRACIÓN 2 DISTRIBUCIÓN DE LA FAMILIA MYRTACEAE EN EL MUNDO.....	19
ILUSTRACIÓN 3 DISTRIBUCIÓN DE CALLISTEMON SP EN AUSTRALIA	20
ILUSTRACIÓN 4 DISTRIBUCIÓN DE CALLISTEMON CITRINUS EN AUSTRALIA	20
ILUSTRACIÓN 5 FLORES, FRUTAS Y HOJAS DEL CALLISTEMON CITRINUS.....	21
ILUSTRACIÓN 6 POSIBLES INTERACCIONES ENTRE LOS DIFERENTES COMPONENTES DE LA MICORRIZÓSFERA EN MICORRIZA ARBUSCULAR	24
ILUSTRACIÓN 7 MICELIO INTERCELULAR EN UNA ECTOMICORRIZA Y MA	25
ILUSTRACIÓN 8 CROQUIS DE LAS MUESTRAS DE SUELO	36

LISTA DE IMAGENES

IMAGEN 1 EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DEL ESTADO DE CALLISTEMON CITRINUS	22
IMAGEN 2 LAS 3 FASES DEL PROCESO DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA	27
IMAGEN 3 EJEMPLO DE MUESTRAS DE SUELO Y RAÍZ	30
IMAGEN 4 PREPARACIÓN DE RAÍCES PARA TINCIÓN (CLAREO)	34

IMAGEN 5 TINCIÓN DE RAÍCES PARA IDENTIFICACIÓN EN EL MICROSCOPIO	35
IMAGEN 6 INTERSECCIONES Y COLONIAS DE LAS MUESTRAS DE RAÍZ EN LA ZONA COMÚN.....	40
IMAGEN 7 ARBÚSCULOS (A) E HIFAS (B) DEL INDIVIDUO LEJANO AL CUERPO DE AGUA..	42
IMAGEN 8 ESTRUCTURA TOTAL DEL HONGO EN EL ÁRBOL CERCANO AL AGUA	42
IMAGEN 9 INTERSECCIONES Y COLONIAS DE LAS MUESTRAS DE RAÍZ EN LA ZONA DE PRESERVACIÓN.....	48
IMAGEN 10 HIFAS DEL INDIVIDUO CERCANO AL AGUA	50
IMAGEN 11 ENCAPSULAMIENTO EN LA CÉLULA	50
IMAGEN 12 COLONIZACIÓN DEL HONGO EN EL INDIVIDUO CERCANO AL AGUA	51
IMAGEN 13 INICIOS DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA	51

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	65
ANEXO B. TINCIÓN DE RAÍCES PARA OBSERVAR LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA.....	67
ANEXO C. ELEMENTOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE LABORATORIO	69
ANEXO D. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS IGAC	71
ANEXO E. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE DENSIDADES	73
ANEXO F. REGISTRO FOTOGRÁFICO CALLISTEMON CITRINUS	75
ANEXO G. GLOSARIO.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo metodológica.....	38
--	----

1. RESUMEN

Existen ecosistemas que benefician las relaciones micorrízicas, como los humedales, estos ecosistemas influyen altamente tanto en el entorno como en las relaciones que en su interior se pueden llevar a cabo, ya que los humedales poseen un microclima que aísla ciertas especies de condiciones externas perjudiciales para su desarrollo, como es el caso del árbol *Callistemon citrinus* conocido comúnmente como Escobillón Rojo por su traducción al español, es una especie de la familia *Myrtaceae*, que establece su relación con el hongo que forma la micorriza en sus primeras etapas de vida, lo que le beneficia el intercambio nutricional y puede permitir que se incremente su longevidad (Australian National Botanic Gardens; Rod Harvey, 1995).

Para este estudio comparativo, se tomaron muestras de la raíz de dos (2) individuos en la zona común y dos (2) individuos de la zona de preservación, para el estudio químico del suelo se tomaron doce (12) muestras de suelo micorrizado para hacer una muestra compuesta de la zona de acceso común y dos (2) muestras para hacer la segunda muestra compuesta de la zona de preservación de la Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago (en adelante RDH Santa María del Lago), para realizar la observación de las estructuras presentes y así poder identificar la presencia del hongo simbiote, adicionalmente se tomaron las características medioambientales obtenidas de la estación hidrometeorológica del IDEAM llamada Aeropuerto el Dorado y se determinó la densidad de los mismos cuatro (4) puntos en donde se tomó la muestra de raíz.

Posterior a la identificación de las raíces y estudio de suelos, se logró confirmar e identificar que el hongo *Glomus sp.* está aún presente en las raíces de los individuos de *Callistemon citrinus* en el área común de la RDH Santa María del Lago después de 7 años; sin embargo, los resultados arrojaron una variación debido a que las estructuras más definidas del hongo, son las raíces cercanas al agua y en el año 2016 las muestras alejadas fueron quienes presentaron las estructuras más definidas; adicionalmente, el porcentaje de colonización para raíces cercanas fue del 96% para el presente año y para el año 2016 fue de 51% lo que denota un incremento significativo en cuanto a colonización.

Las variables más determinantes fueron la humedad relativa con un aumento de aproximadamente 8% pasando de 73% para el año 2016 a un 81% para el año 2023 y el fósforo disponible ya que en 2016 fue de 47,28 mg/Kg y para el año 2023 fue de 46,05 mg/Kg lo que significa una disminución y en consecuencia un menor aprovechamiento de este elemento para el crecimiento radicular del árbol.

1.1 PALABRAS CLAVES

Simbiosis micorrízica, suelo, hongo, humedal, adaptación, crecimiento radicular, estructuras del hongo.

2. INTRODUCCIÓN

Todas las relaciones presentes en ecosistemas como humedales, permiten determinar el desarrollo de algunas especies, desde siempre, el desarrollo de las poblaciones ha estado determinado por la supervivencia

de los más fuertes, así mismo, las relaciones entre individuos se pueden dar de manera directa o indirecta (interespecífica o intraespecífica).

Conocer cómo se dan las relaciones micorrízicas a nivel del suelo, permiten determinar cómo se nutren las plantas o de qué modo el suelo está influyendo en el crecimiento de las mismas, estas asociaciones también permiten saber si el hongo presente puede beneficiar o afectar la planta en la cual está viviendo. En el presente trabajo se comparó la asociación micorrízica entre el individuo arbóreo Escobillón Rojo (*Callistemon citrinus*) presente en la zona común (zona en la que los visitantes pueden estar) y el hongo *Glomus sp*, dada en el año 2016, así como la asociación presente en el año vigente (2023) teniendo adicionalmente en cuenta árboles presentes en el área de preservación (área restringida a los visitantes).

Debido a que esta planta es introducida y no se cuenta con bibliografía para el caso puntual de las condiciones climáticas de Bogotá, fue importante analizar y destacar esta asociación y los cambios que, con el paso de los años dio lugar, es por ello que dentro de la Ingeniería Ambiental es importante identificar, este tipo de relaciones que benefician los ecosistemas como es el de humedal propiamente y cómo desde la ingeniería se pueden desarrollar estrategias de conservación de especies introducidas y de adaptación, teniendo en cuenta la relación específica con este hongo.

La Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago, es uno de los humedales que cuenta con la mejor calidad de agua en el espejo allí presente y uno de los más visitados en Bogotá (Fundación humedales Bogotá, 2016) es por ello que los estudios realizados determinaron si la influencia de la ubicación de los árboles tanto cerca como lejos, podrían influir en la adaptación al medio, adicionalmente uno de los retos que se logró identificar fue la falta de referencias en cuanto bibliografía, ya que al no tener puntos de comparación, se realizaron los estudios de suelo y densidad sin conocer los de su entorno original, así mismo desconociendo características iniciales al momento de su introducción al humedal.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bogotá cuenta con un total de 17 reservas distritales de humedal (RDH) en donde 11 de ellos están reconocidos por la convención internacional Ramsar (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022). La RDH Humedal Santa María del Lago es uno de los humedales que fue, desde el año 2021, considerado como área de protección de orden distrital bajo el Decreto 555 de 2021 “por la cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022) Por lo anterior, las especies allí existentes están bajo el continuo seguimiento de la Secretaría Distrital de Ambiente y el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, es por ello que una especie introducida como *Callistemon citrinus* no cuenta con un catálogo de instrucciones respecto de sus características como especie introducida en la RDH o instrucciones para su protección, mantenimiento y poda, tampoco información robusta de condiciones naturales endémicas.

Las diferentes intervenciones antropogénicas que ha sufrido el humedal, permitieron cuestionar acerca de la presencia y permanencia de especies en esta área, seleccionando la especie vegetal *Callistemon citrinus*, debido a que es una de las especies con mayor cantidad de individuos (entre las especies introducidas, siendo

42 en total para el año 2023), respecto al cuerpo principal de agua del humedal y a que establece relación micorrízica de forma natural; lo cual permite evaluar a esta especie en función de su relación con el ambiente del humedal en términos bióticos y abióticos. Para esto, se tuvieron en cuenta los factores atmosféricos cercanos al área de influencia directa, así como el microclima del suelo que se encuentra en contacto con la especie de estudio. Las características anteriormente mencionadas se relacionaron en un documento que hace parte del repositorio de la Fundación Universitaria Horizonte y que fue elaborado en el año 2016 por los mismos autores de la presente investigación, es importante analizar cuáles han sido los cambios tanto de individuos arbóreos como de los parámetros ambientales que se establecieron en dicho momento y permitir formular la siguiente pregunta:

¿Continúa presente la asociación micorrízica en los individuos de *Callistemon Citrinus* y *Glomus sp* en el año 2023? y de continuar presente, ¿esta asociación influye en su adaptación y permanencia en el humedal?

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar y evaluar las diferencias entre la asociación micorrízica estudiada en el año 2016 y la actual para la zona de acceso público de la Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comprobar si la asociación micorrízica se encuentra presente en los individuos seleccionados para el presente año.
- b) Identificar las condiciones ambientales de aire y suelo actuales de la Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago que permiten a *Callistemon citrinus* estar presente e influir en la dinámica ecosistémica.
- c) Analizar las características edáficas, particularmente químicas del suelo (estudio de fertilidad) donde se encuentran los individuos de *Callistemon citrinus* para determinar las condiciones mínimas para su desarrollo.
- d) Describir los efectos producidos en los individuos objeto de estudio por la cercanía al cuerpo de agua del humedal en la zona de acceso común.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 EL SUELO

La tierra constituye un amplio espacio poblacional en el cual transcurren varios fenómenos que ponen a prueba en todo momento a sus habitantes, y por ende deben desarrollarse habilidades y/o comportamientos que permitan no solo resistencia a tales fenómenos, sino también adaptación, la que permitirá su evolución y permanencia en el medio, tal es el caso de hongos y plantas, los cuales presentan una evolución en sus

estructuras que mejoran sus capacidades de sobrevivir, al permitirles adaptarse (Fassbender & Bornemiza, 1987).

Durante el desarrollo y transformación de la tierra se conocen tres etapas definidas e importantes:

- Formación del suelo
- Formación hidrológica
- Evolución de los primeros seres vivos

Las etapas que se mencionan anteriormente, constituyen una base para poder entender el desarrollo en sí mismo de los humedales, ya que sufren modificaciones muy similares respecto de su evolución y aspecto final, así como la formación hidrológica de los cuerpos de agua que se conocen hoy en día presentes en los humedales, los cuales se encuentran fundamentados en aquellas eras de glaciaciones e incrementos de temperatura que permitieron la formación de los cuerpos de agua y por consiguiente el desarrollo de la vida en los mismos.

Las formaciones del suelo que dieron origen a los humedales no son propiamente distintas a las de otro tipo de suelos, pero tampoco son idénticas en sus características; básicamente la química del suelo varía para cualquiera que se tome como referencia, según (Fassbender & Bornemiza, 1987), “la fase sólida de la mayoría de los suelos está constituida principalmente por sustancias inorgánicas de diferente composición química. Algunas de ellas son mezclas de compuestos a las que se denominan rocas (...)”.

Se puede inferir, que el suelo de los humedales no está formado de manera diferente a otras formaciones del suelo comunes o más conocidas, ya que solo se puede determinar “diferente” por el cuerpo de agua presente en estos ecosistemas, sin embargo; el agua contenida allí a su vez tiene parte de su formación evolutiva. Generalmente las características de los suelos son dadas por aquel material parental presente en sus inicios, en donde todo indica que los humedales están constituidos, en su gran mayoría, por rocas de tipo sedimentario y metamórfico (tomado y adaptado de (Fassbender & Bornemiza, 1987)), también tiene gran contenido de limo, arena y arcilla, lo que en proporciones son relativamente francas, a estas condiciones de desarrollo se le atribuyen el enriquecimiento de materia orgánica y la pérdida de todos los elementos solubles en agua, pero que en el caso de los humedales esta pérdida no es tan relevante debido a que se da de manera sustancial y la roca madre sigue presente en este cuerpo hídrico. Lo anterior significa que ya existe el primer aspecto evolutivo de un humedal y es el material parental.

5.1.1 SUELOS COLOMBIANOS (COBERTURAS)

Conocer la distribución espacial de las coberturas en Colombia tiene una amplia importancia a nivel ambiental ya que permite identificar claramente las propiedades y sus posibles usos, es por ello que las texturas del suelo, son aspectos importantes a tener en cuenta al momento de estudiar una especie en específico ubicada espacialmente en un área determinada. Conocer esta distribución y aquellas características específicas permite comprender los métodos de adaptación que pueden tener las plantas o aquellos cambios que puede tener con respecto a la respuesta ante cambios en el medio ambiente.

La textura del suelo es la proporción de arena, limo y arcilla en el suelo. Es una de las propiedades del suelo que se miden con mayor frecuencia. La textura del suelo influye en una amplia variedad de propiedades y funciones como la capacidad para retener agua, así como los comportamientos cuando se presentan actividades físicas, químicas y biológicas (Richer-de-Forges, y otros, 2022). Conocer la textura del suelo permite tener conocimiento acerca de la capacidad del suelo para retener carbono y para conocer la fertilidad del mismo, lo que apoya las actividades de agricultura y de allí se identifican procesos de plantación de especies introducidas, como es el caso de las plantas ornamentales que comúnmente se utilizan en Colombia.

5.1.2 COBERTURAS RDH SANTA MARÍA DEL LAGO

Los humedales también cuentan con una discriminación en cuanto a su cobertura se refiere, en el caso de la RDH Santa María del Lago, se pueden evidenciar diferentes tipos de coberturas, como se ilustra en la ilustración 1 teniendo en cuenta algunas más predominantes que otras por las diferentes modificaciones antropogénicas frente a las cuales ha sufrido la RDH desde sus inicios al ser reconocido como área de reserva natural, en donde un amplio porcentaje de su área se ha convertido en suelo endurecido.

Ilustración 1

Coberturas suelo Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago



Nota: Secretaría Distrital de Ambiente, 2023, Visor Geo ambiental de coberturas edáficas.

Para la RDH Santa María del Lago, existen diferentes coberturas vegetales entre las que se encuentran las enlistadas en la tabla 2 determinadas según su nivel, adicionalmente a continuación se describe cada una de las coberturas presentes en la ilustración 1:

- **Áreas Endurecidas:** Son espacios que están conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas

artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021). La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área de lo que se conoce como tejido urbano.

- **Pastos limpios:** Esta cobertura se constituye de las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; entiéndase por pastos limpios aquellos que se pueden usar en pastoreo y que están relativamente en buen estado de mantenimiento.
- **Pastos enmalezados:** Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura de la vegetación secundaria es menor a 1,5 m.
- **Bosque abierto alto:** Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a 15 metros, cuya área de cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos.
- **Herbazal denso inundable:** Corresponde a aquellas superficies dominadas por vegetación natural herbácea con cobertura mayor a 70% del área total de la unidad, en suelos permanentemente sobresaturados, que durante los periodos de lluvia (4-8 meses al año en la temporada de lluvias de abril a noviembre) pueden estar cubiertos por una lámina de agua. Puede presentar algunos elementos arbóreos en forma de parches o matas de monte y áreas con comunidades de palmas o “morichales”, dispersos, que en ningún caso superan el 2%, y que pueden estar rodeados de áreas de bosques riparios.
- **Arbustal abierto:** Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001); los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo y cuya cubierta representa entre 30% y 70% del área total de la unidad.
- **Vegetación acuática:** Bajo esta categoría se clasifica toda aquella vegetación flotante que se encuentra establecida sobre cuerpos de agua, cubriéndose en forma parcial o total.
- **Cuerpo de agua:** Superficies o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, dulce o salobre, que pueden estar conectadas o no con un río o con el mar.

Las coberturas presentes en la RDH Santa María del Lago, se encuentran discriminadas en diferentes proporciones como se muestra en la tabla 1, así mismo se discriminan según el nivel en la tabla 2:

Tabla 1

Área de Coberturas de humedal Santa María del Lago

Cobertura	Área	%
Áreas Endurecidas	0,13	1,2%
Pastos limpios	0,05	0,4%
Pastos enmalezados	0,13	1,2%
Bosque abierto alto de TF	4,90	45,1%
Herbazal denso inundable	3,45	31,8%
Arbustal abierto	0,52	4,8%
Vegetación acuática	0,15	1,4%
Cuerpo de agua	1,52	14,1%
Total		100%

Nota: Secretaría Distrital de Ambiente, 2021, porcentaje de coberturas según el área en la RDH Santa María del Lago.

Tabla 2

Clasificación de coberturas vegetales Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Territorios agrícolas	Pastos	Pastos limpios			
		Pastos enmalezados			
Bosques y áreas semi naturales	Bosques	Bosque abierto	Bosque abierto alto	Bosque abierto alto de tierra firme	
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Herbazal	Herbazal denso	Herbazal denso inundable	Herbazal denso inundable no arbolado
		Arbustal	Arbustal abierto		
Áreas húmedas	Áreas húmedas continentales	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua			

Superficies de agua	Aguas continentales	Lagunas, lagos y ciénagas naturales			
---------------------	---------------------	-------------------------------------	--	--	--

Nota: Secretaría Distrital de Ambiente, 2021, se describe según el nivel cada una de las coberturas presentes en la RDH Santa María del Lago.

5.2 LOS HUMEDALES

Colombia es un país que se caracteriza por su diversidad tanto en flora como en fauna, en comparación a otros países latinoamericanos, ya que alberga alrededor de 31.702 humedales en toda su extensión según datos del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Entre estos humedales están incluidos los estuarios, arrecifes, ciénagas, lagunas; algunos se encuentran ubicados en cerca de las costas y algunos otros en zonas ribereñas o de alta montaña.

Gracias a la capacidad auto-reguladora de los humedales y los microclimas que es capaz de desarrollar en su interior, las condiciones ambientales dentro de los humedales, hace que cambien parcialmente tanto en su interior como en el área de influencia indirecta, es decir; su alrededor. Sin embargo, estos procesos que se dan de autorregulación no se podrían llevar a cabo sin la presencia de fauna y flora que contribuye con procesos de depuración de nutrientes o elementos que deben estar en constante cambio dentro del ecosistema de humedal, la fauna endémica y la flora misma, permite que las condiciones de un humedal permanezcan reguladas y con las condiciones necesarias para que otras especies puedan vivir y permanecer incluso cuando no son nativas.

Una de las características de los humedales es la presencia de cuerpos de agua, ya sean pequeños o grandes; estos permiten la liberación de oxígeno hacia la atmósfera, ayudando a que las plantas allí existentes generen un intercambio gaseoso con otras especies y así se genere una interacción entre las mismas, creando una adaptación conjunta que desarrolla los procesos a nivel del suelo, agua y aire; todo enmarcado en el mismo ecosistema de humedal. La permanencia de los humedales está definida inicialmente por su ubicación geográfica y las condiciones específicas de su entorno, es por ello que las actividades antropogénicas pueden limitar o impedir el correcto funcionamiento de los humedales por actividades como el endurecimiento de las áreas contiguas.

5.2.1 CLASES DE HUMEDALES

Los ambientes acuáticos que componen un humedal pueden estar definidos por su ubicación y características propias de las cuencas hidrográficas a las que pertenecen estos ambientes, de los cuales se pueden resaltar en Colombia los siguientes:

- **Ambientes lacustres de páramo:** son los depósitos naturales de agua, generalmente están ubicados en áreas de protección y se localizan en promedio a partir de los 3.300 msnm (Guerrero, Sánchez, León, & Escobar, Avifauna acuática residente y migratoria en Colombia, 1998) citado por (Castellanos-M, 2021).

- **Ambientes lacustres andinos y subandino:** La franja altitudinal que enmarca esta zona tiene una altura promedio que va desde los 1.100 hasta los 3.800 msnm y concentra la mayor población de nuestro país, la mayoría de lagos y lagunas andinas, así como las innumerables nacimientos de agua se encuentran amenazados por la contaminación y su impacto se ha investigado principalmente en la laguna de Fúquene y el lago de Tota donde se ha registrado deterioro de la calidad del agua, concentración de sedimentos y disminución de la biodiversidad (Guerrero, Sánchez, León, & Escobar, Los sistemas acuáticos de Colombia: síntesis y revisión, 1998) citado por (Castellanos-M, 2021).
- **Ambientes fluviales, lacustres y palustres tropicales:** se extiende desde los 10 hasta los 1.000 (1.100) metros de altitud. Los ríos Cauca, Magdalena, San Jorge y Atrato y sus áreas de inundación, son los principales humedales ribereños de Colombia. A partir del medio y bajo Magdalena se forma un interesante sistema palustre con más de 1.900 ciénagas, caños y meandros, de los cuales la depresión Momposina merece particular atención por la convergencia hídrica que ella soporta (Castellanos-M, 2021).

Así mismo, existen varias clasificaciones de humedales, sin embargo, las más relevantes para esta investigación son aquellas que se encuentran en la región andina o cordillera y que se describen a continuación en la tabla 3.

Tabla 3
Clasificación general de los humedales

DULCEACUÍCOLAS		
NATURALES	FLUVIALES O RIBEREÑOS	Conformado por los ríos, arroyos, cascadas y demás corrientes de agua que existen de manera permanente, así como aquellos que se crean de manera temporal o intermitente.
	LACUSTRES	A él corresponden los lagos y lagunas de carácter temporal o permanente e incluso toda el área de influencia que ellos pueden alcanzar durante los periodos de inundaciones.
	PALUSTRES	Ambientes comprendidos por manantiales, oasis, ojos de agua, bosques pantanosos, ciénagas, caños y pantanos permanentes o estacionales.
ARTIFICIALES	Todo tipo de obra construida por el hombre, cuyo fin sea almacenar o controlar el agua, entre estos están los embalses, represas y charcas. Dentro	

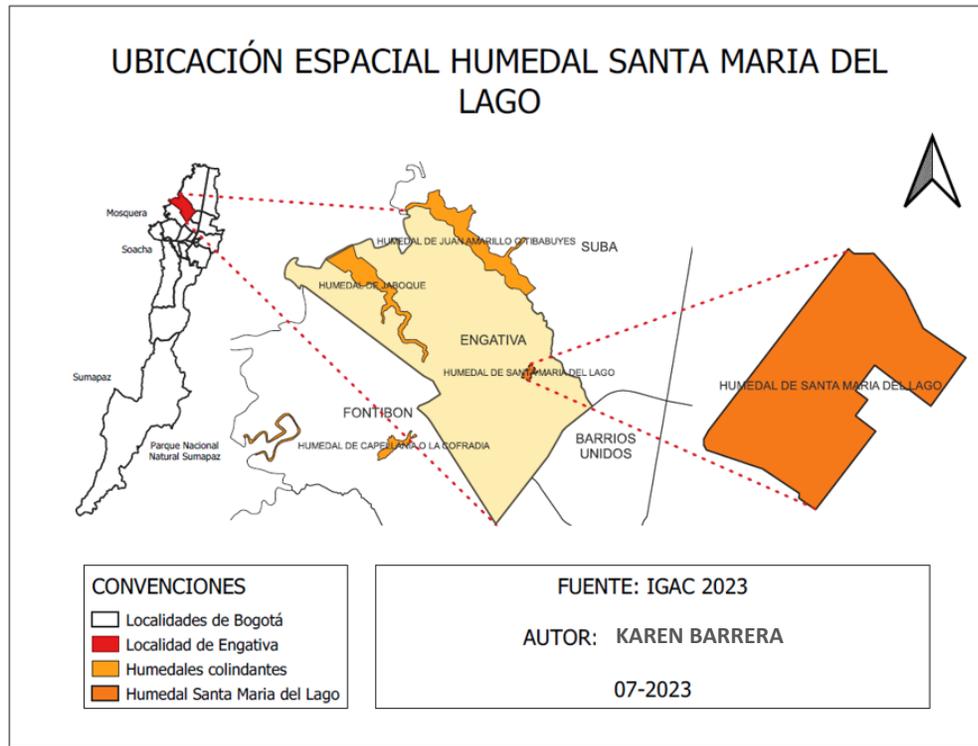
	de esta categoría también se han considerado las tierras arables que se afectan por las inundaciones.
SALADOS O SALOBRES	
MARINO	Incluye desde las aguas marinas someras, el lecho marino y los arrecifes de coral, hasta playas rocosas, playas de arena y grava.
ESTUARIO	Áreas de manglares, pantanos salados, aguas estuarinas y pantanos lodosos intermareales.
LACUSTRE-PALUSTRE	Lagunas y lagos costeros, salinos y salobres.

Nota: Castellanos, 2001, se presenta una descripción de la clasificación de los humedales que se encuentran tanto en la región andina, como en América Latina.

5.2.2 RDH SANTA MARÍA DEL LAGO

La RDH Santa María del Lago, está ubicada al noroccidente de la ciudad de Bogotá (ver mapa 1), en la localidad de Engativá, UPZ Boyacá Real, hace parte de la cuenca Salitre y cuenta con un área total actual de 10.8 ha.

Mapa 1
Ubicación espacial RDH Santa María del Lago



Nota: Barrera & Chaverra, 2023.

La RDH Santa María del Lago, cuenta con la Resolución 7773 del 22 de diciembre de 2010, en donde se aprobó el plan de Manejo Ambiental del humedal Santa María del Lago, en donde se plantean las acciones para la recuperación del mismo a cargo de la Secretaría Distrital de Ambiente.

La RDH Humedal Santa María del Lago, según el Informe de calidad del agua superficial y comunidades hidrobiológicas en los parques ecológicos distritales de humedal (PEDH) 2019 - 2020, no cumplía para estos años los parámetros de OD, temperatura, aceites y grasas, COT, DQO, NO₃ y SST en algunas de sus áreas en donde el cuerpo de agua está presente, eso a su vez cuenta con respaldo debido a la proliferación de eneas en el espejo de agua lo que impide el aumento de los niveles de oxígeno.

Las características de la RDH en Bogotá son prácticamente únicas debido a que es un humedal que se encuentra en medio de dos avenidas principales; La Avenida Boyacá y la Calle 80, otra de las características que se resalta de este humedal es su Aula ambiental, que le hace atractiva para ONG y entidades medioambientales interesadas en la restauración de ecosistemas. Sin embargo, este humedal presenta ciertas deficiencias en cuanto a el estado de ciertos individuos arbóreos como el que es objeto de investigación en el presente documento, ya que existe mucha competitividad entre especies y no es posible una adaptación y adquisición de nutrientes esenciales para su desarrollo.

“La problemática del PED Humedal Santa María del Lago, se basa en la eutrofización que puede estar afectando el ecosistema, la presencia de especies competidoras tanto en la zona de ronda como en el cuerpo de agua, la baja efectividad de la franja de amortiguación debida al impacto antrópico sobre el humedal y los procesos endógenos dados por la pérdida de conectividad y el aislamiento del humedal”
(Secretaría Distrital de Ambiente, 2022)

Las características propias de la RDH Santa María del Lago (antes PEDH), pueden influenciar directamente en el desarrollo de ciertas especies, tanto endémicas como introducidas, debido a la presencia de áreas residenciales que pueden limitar el acceso de luz en algunas áreas de la RDH, sin embargo la mayor parte de la flora presente se encuentra en buen estado, adicionalmente hay que tener en cuenta que un ecosistema de humedal no podría ser en su esencia sin la presencia de un cuerpo de agua, por lo que no se podrían dar correctamente ciclos importantes como el ciclo del agua.

5.3 FAMILIA MYRTACEAE

Callistemon citrinus, comúnmente conocido en español como Escobillón Rojo es un árbol que hace parte de la familia *Myrtaceae*, esta familia comprende plantas pequeñas como pequeños arbustos y árboles de grandes dimensiones como el *Eucalyptus*, el cual llega a tener hasta 150 m de altura (Heywood, 1993). Esta familia está repartida principalmente en bosques australianos; sin embargo, sus variados colores, texturas y gran capacidad de adaptación al clima tropical le han permitido establecerse muy bien en la región Andina (Ilustración 2) (Heywood, 1993).

Esta familia posee unas características notables por medio de las cuales es sencillo identificarlas en el medio; se trata de plantas leñosas, con hojas opuestas (aunque se pueden encontrar de manera alterna), coriáceas, persistentes y enteras, sin estípulas y con punteaduras diáfanas debido a glándulas sub-epidérmicas (que también se encuentran sobre los tallos jóvenes, piezas florales y frutos) (Heywood, 1993).

Esta familia es apreciada ya que segrega esencias aceitosas de agradable olor, su flores son regulares y bisexuales, en inflorescencias la mayoría de las veces cimosas y pocas veces racimosas, se da raramente su epiginidad¹ pero también con diversos grados de periginia; comúnmente de 4 a 5 sépalos habitualmente libres (algunas veces más o menos soldados formando una caperuza que se desprende al abrirse la flor), algunas veces muy reducidos o virtualmente ausentes; 4-5 pétalos libres, pequeños y redondos, presentan un estambre numeroso (rara vez se ven pocos), en algunas ocasiones formando manojos opuestos a los pétalos, libres, con anteras versátiles; ovario comúnmente ínfero, con varias cavidades. El fruto de esta familia generalmente es una baya carnosa (aunque pueden hallarse drupas², cápsula o bien una nuez, semillas con nada o poco de endospermo (Heywood, 1993).

¹ Se dice de la flor que presenta los sépalos, los pétalos y los estambres insertos en el receptáculo por encima del gineceo (ovario ínfero).

² Fruto monospermo de mesocarpio carnoso, coriáceo o fibroso que rodea un endocarpio leñoso (“carozo”, a veces llamado “hueso”) con una sola semilla en su interior

Ilustración 2

Distribución de la familia Myrtaceae en el mundo



Nota: Heywood, 1993, distribución de la familia Myrtaceae en todos los continentes.

Esta familia cuenta con dos divisiones:

- **Mirtoideas:** flores epíginas, hojas siempre opuestas; fruto carnoso, casi siempre baya.
- **Leptospermoideas:** Habitualmente corresponden a flores epíginas; hojas opuestas o alternas; fruto seco; capsula o nuez.
-

Entre los frutos comestibles y característicos de esta familia se encuentra la guayaba, de América tropical y Antillas, así como la feijoa; dentro de las especies ornamentales se tiene a la especie de esta investigación, *Callistemon citrinus*.

5.4 ESCOBILLÓN ROJO (*Callistemon citrinus*)

La etimología de este árbol se origina del griego *kállos*; belleza y *stémon*; estambre, y es que en efecto la belleza de su flor se debe a su estambre. (Lanzara & Pizzetti, 1979).

Callistemon citrinus es un arbusto ornamental apreciado y extendido por su abundante floración y/o follaje brillante. La tolerancia intrínseca a la sequía/salinidad apoya su uso en zonas urbanas y xerojardinería (Crillo, y otros, 2019). Esta especie se encuentra de manera silvestre sólo en el continente australiano, ya que son originarias de allí, se pueden cultivar en diferentes países pero puede que no alcancen las alturas propias de zonas endémicas por las condiciones climáticas.

Ilustración 3
Distribución de *Callistemon Sp* en Australia

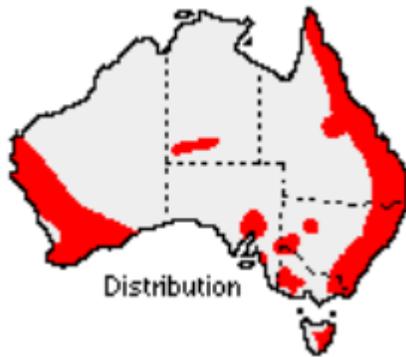


Ilustración 4
Distribución de *Callistemon citrinus* en Australia



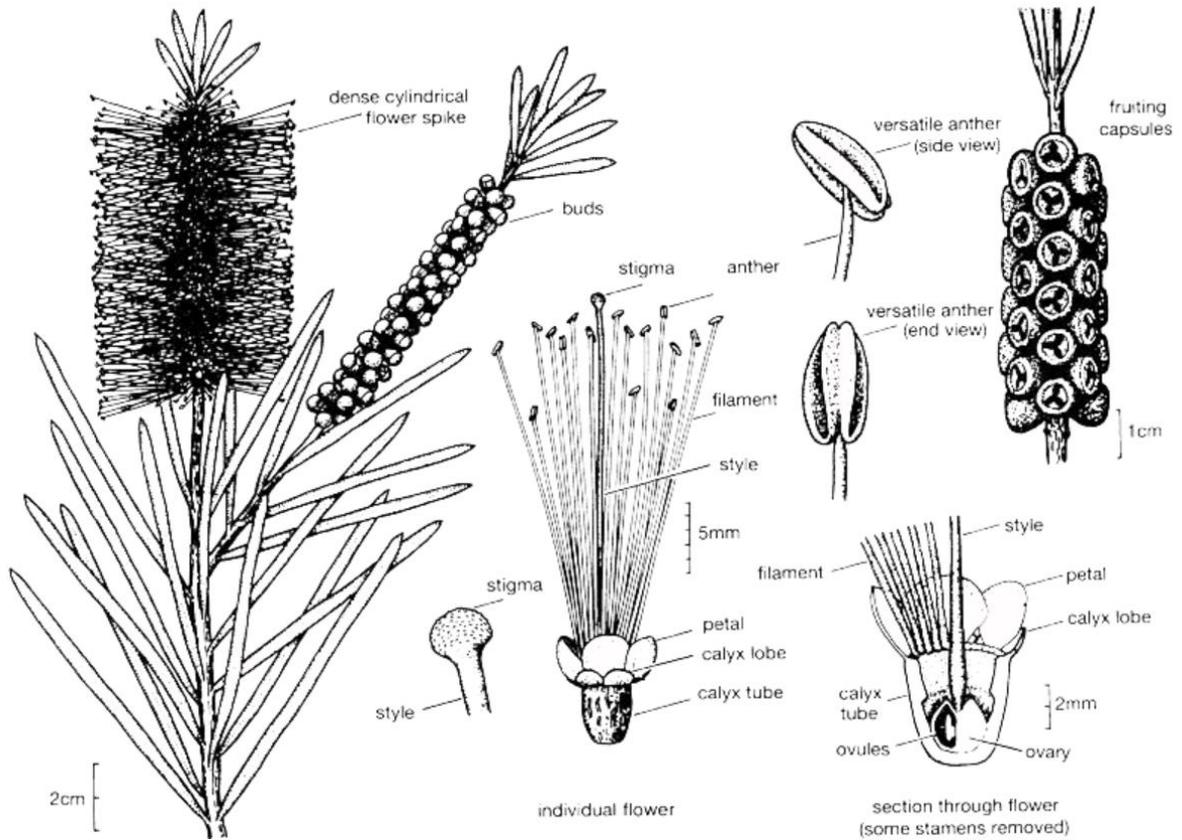
Nota: Australian National Botanic Gardens, 1972, identificación de la presencia de la especie *Callistemon* en todo el territorio australiano.

El Escobillón Rojo es un arbusto de áreas pantanosas y templadas que está presente en Victoria, New South Gales y Queensland. La facilidad de cruce con otras especies puede traer consigo variaciones de colores a lo largo del mundo donde esté presente; sin embargo, originalmente el Escobillón es rojo y por eso su nombre en español, cabe resaltar que su nombre original es *Crimson Bottlebrush* y se atribuye a la especie *Callistemon citrinus* (Curtis) Skeels. El atractivo especial de este árbol es que florece dos veces al año en los meses de noviembre y finales de marzo (Australian National Botanic Gardens; Australian National Herbarium, 1972).

Las hojas del Escobillón son lanceoladoacuminadas, bastante estrechas, con inervación central muy marcada y prominente, están dispuestas alternadamente con márgenes enteros. sus flores nacen en apretadas espigas con forma cilíndrica (ilustración 5), terminales y al igual como sucede con otras plantas de la familia, el crecimiento continúa al ápice de la inflorescencia, con la que esta termina por formar una especie de manguito en la parte superior de la ramificación (Lanzara & Pizzetti, 1979).

Ilustración 5

Flores, frutas y hojas del *Callistemon citrinus*



Nota: Australian National Botanic Gardens, 1972, descripción detallada de cada una de las partes de las hojas, ramas y flores que componen la especie *Callistemon citrinus*.

Cada flor de esta planta produce una pequeña fruta leñosa que contiene allí dentro sus semillas, estos frutos se forman a lo largo del tallo y generalmente se mantienen en la planta por hasta un año, la apertura de los frutos puede estar influenciada por el calor (Australian National Botanic Gardens; Rod Harvey, 1995).

Imagen 1

Evidencia fotográfica del estado de *Callistemon citrinus*



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, fotos tomadas a un ejemplar de *Callistemon citrinus*.

En la imagen 1 se observan las partes de *Callistemon citrinus* detalladamente; (a) aspecto físico de la planta, (b) rama con flores, (c) capsulas de fructificación, (d) detalle de una flor y (e) corte longitudinal.

5.4.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Este árbol desprende un olor a eucalipto o aroma cítrico, el cual hace del mismo diferente a otras especies y fácilmente identificable, puede alcanzar alturas máximas de 5 metros, pero en áreas donde no es nativa, puede superar esta medida como se evidenció en la etapa de identificación del árbol en la RDH Santa María del Lago teniendo una tasa de crecimiento media.

Callistemon citrinus cuenta con un tronco al tacto, áspero y húmedo, su copa es abundante y aparasolada a la vista la densidad de la copa es abierta o semi traslúcida y como se ha mencionado antes con características principalmente ornamentales; sin embargo, existen estudios en los que se experimenta con esta planta para elaboración de aceites esenciales.

Tabla 4
Características técnicas de *Callistemon citrinus*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Altura	desde los 0,5 hasta los 4 m
Longevidad	10 a 20 años
Suelo	No resistente a suelos altamente alcalinos
Propagación	Semillas

Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de Australian National Botanic Gardens, 1972.

5.4.2 UBICACIÓN SEGÚN COBERTURAS

Callistemon citrinus se establece dentro de lo que corresponde a zonas boscosas dentro del ecosistema de humedal en Colombia, pero también comparte la cobertura de pastos enmalezados; estos últimos presentan un comportamiento particular en el humedal pues junto con la suelda con suelda, mantienen la humedad en el perímetro del arbóreo lo cual garantiza una excelente retención, sin embargo, esto no ocurre en todos los casos pues se pudo evidenciar que algunos individuos de *Callistemon citrinus* que contaban con cobertura de pastos enmalezados, estaban en muy mal estado o eran individuos muertos en pie; de hecho, para determinar la afectación es necesario recurrir a los nutrientes del suelo e inclusive yendo más allá podría analizarse desde las interacciones de estos individuos con otros arbóreos, pues no tienen asociación de epifitas con las cuales podría inferirse que existe retención de nutrientes y del recurso hídrico, es decir que, posiblemente es un déficit de macronutrientes (Instituto Humbolt Colombia; Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá; Invemar; Missouri Botanical Garden, 2014).

5.5 SIMBIOSIS MICORRÍZICA

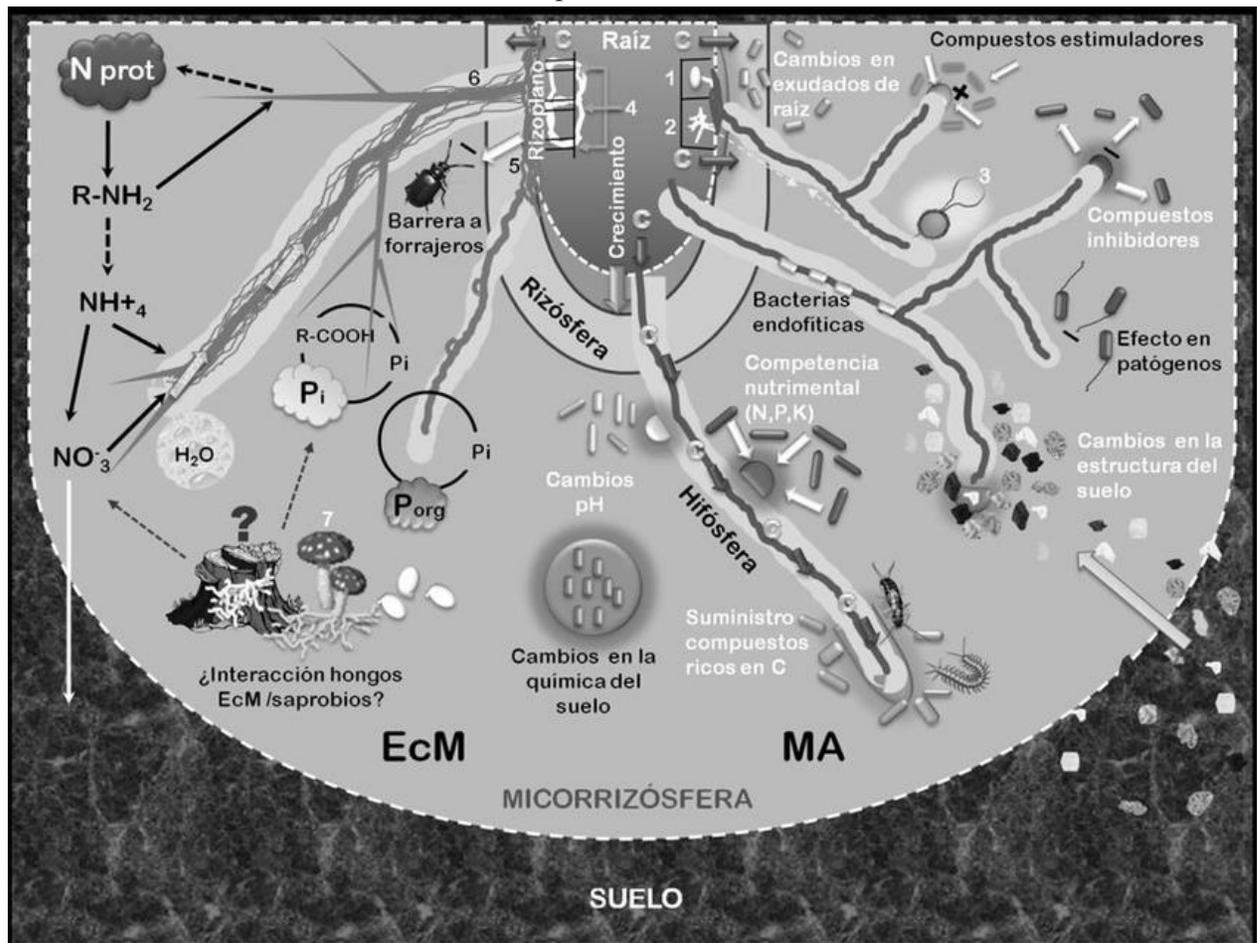
Los inicios de esta relación se encuentran descritos por varios científicos que adoptaron el concepto de micorriza y lo consolidaron para darle la importancia que hoy en día conocemos, así mismo esta relación permitió que las plantas acuáticas, hace aproximadamente 400 años colonizaron el medio terrestre con ayuda de las micorrizas hasta ser lo que hoy en día conocemos (tomado y adaptado de (Barea & Azcon-Aguilar, 1983) citado por (Franco Navarro, s.f.). La simbiosis micorrízica es entonces, la asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas y ciertos hongos presentes en el suelo, esta relación se establece entre los micobiontes y las fotobiontes, hongo y planta respectivamente (Carmargo-Ricalde, De la Rosa-Mera, & Montaña Arias, 2012).

Esta relación aporta a la mejora de la absorción de agua y nutrientes de la raíz de las plantas y a su vez permite que colonicen los suelos más pobres en condiciones ambientales en ocasiones extremas. Convenientemente se está describiendo un fenómeno que no es precisamente con el cual el estudio de esta asociación toma relevancia ecológico-ambiental importante. Los patrones de conducta varían en diferentes ecosistemas y propiamente dicho el humedal constituye uno de los más ricos y variados en nutrientes que son indispensables para cada especie vegetal que lo conforman.

Existe una reacción micótica llamada micorrizósfera, un ambiente en donde se desarrollan estas dinámicas moleculares en donde están presentes reacciones abióticas y bióticas (ver ilustración 6), lo anterior demuestra la influencia de la micorriza (Neri-Luna & Villareal-Ruiz, 2012).

Ilustración 6

Posibles Interacciones entre los diferentes componentes de la micorrizósfera en micorriza arbuscular



Nota: Neri-Luna, C., & Villareal-Ruiz, L., 2012, se describen las posibles interacciones entre el hongo y el suelo a su alrededor, dando posición a la simbiosis micorrízica.

5.5.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MICORRIZAS

Para poder clasificar las micorrizas es necesario acudir a las características morfológicas del hongo, por ejemplo, la forma de las hifas, la penetración del hongo en la raíz o los tejidos de la raíz y, en general, los taxones involucrados.

Por lo anterior, se identifican 2 grandes tipos de micorrizas según la manera como penetran en la raíz; por una parte, las endomicorrizas y las ectomicorrizas y por otra parte se clasifica un grupo intermedio conocido como ectendomicorrizas y sobre las cuales no se entrará en detalle en el presente documento (Nazareno Saparrat, Ruscitti, & Arango, 2020).

Ahora bien, al hablar específicamente de endomicorrizas, es decir, la colonización al interior de la raíz, se describen diferentes subtipos: *monotropoide*, *ericoide*, *orquídeoide* y *micorrizas arbusculares* (estas últimas de gran interés en este documento como se observará más adelante); en las primeras tres no se observan vesículas ni arbusculos, estructuras típicas del subtipo micorriza arbuscular.

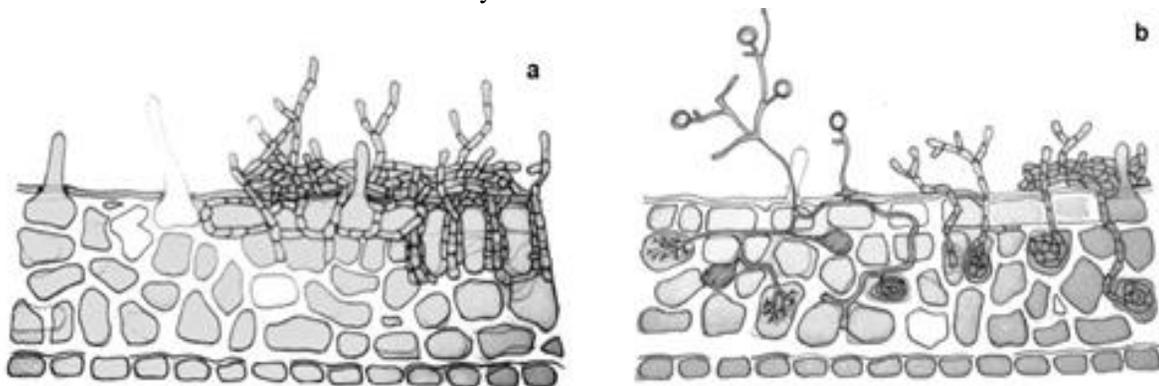
5.5.1.1 Ectomicorrizas

En este tipo de simbiosis es común observar un manto de hifas alrededor de las raíces absorbentes, esto por supuesto produce una modificación en la morfología de la raíz; ahora bien, son ectomicorrizas porque sus hifas y su interacción a nivel estructural con la raíz no penetran en el interior de las células del individuo arbóreo hospedador, es decir que crecen de manera intracelular adhiriéndose al apoplasto radical, un espacio celular en donde circula agua y otras sustancias vitales y a esta disposición de las hifas se le conoce como “Red de Harting” (Falcón-Oconor, Cobas-López, & Bonilla-Vichot, 2020).

Los hongos que suelen formar este tipo de micorriza son los pertenecientes al grupo *basidiomycetes* y lo hacen con plantas de porte arbóreo o arbustivo, nunca en rastrojo. Por lo anterior, este tipo de asociación ocurre en menor medida que las de tipo endo dado que tienen un menor rango de hospedantes vegetales y están limitadas a regiones frías o templadas. Es decir, que aquí ya se puede deducir que la asociación generada por *Callistemon citrinus* y un tipo de hongo *Glomus sp* no corresponde a este tipo micorrízico (Falcón-Oconor, Cobas-López, & Bonilla-Vichot, 2020).

Ilustración 7

Micelio intercelular en una ectomicorriza y MA



Nota: Nazareno Saparrat, Ruscitti, & Arango, 2020, en donde se representa el esquema del micelio intercelular en una ectomicorriza (a) e inter-intracelular de una endmicorriza (b).

5.5.1.2 Endomicorriza

En cuanto a las endomicorrizas, estas crecen tanto dentro como fuera de la raíz, es decir que son apoplásticas y simplásticas. En esta simbiosis el elemento más representativo son los arbuscúlos, los cuales se pueden observar fácilmente luego de una adecuada tinción de la raíz del individuo arbóreo. Estos hongos pertenecen al género *Phylum Glomeromycota*.

Tabla 5
Cuadro comparativo entre tipos de micorrizas

ECTOMICORRIZAS	MICORRIZAS ARBUSCULARES
Regiones frías a templadas.	Amplia distribución geográfica.
Árboles y arbustos.	Todo tipo de vegetación.
Se conocen más de 600 especies principalmente <i>Basidiomycota</i> .	Un poco más de 180 especies de <i>Glomeromycota</i> .
Cambia la morfología de la raíz.	No modifica la morfología de la raíz.
La planta se convierte en simbiote obligada.	La planta es simbiote facultativo.
El hongo es simbiote facultativo	El hongo es simbiote obligado.

Nota: Nazareno Saparrat, Ruscitti, & Arango, 2020, en donde se expresan las diferencias generales de ECM y MA.

5.5.1.3 Proceso de colonización

Fase de reconocimiento

Inicialmente, se produce una interacción de las plantas con los hongos micorrízicos arbusculares por medio de señales bioquímicas específicas. Esto ocurre en todas las fases del desarrollo de la simbiosis, que permiten el reconocimiento, la colonización y el intercambio de nutrientes (Nazareno Saparrat, Ruscitti, & Arango, 2020).

Es decir que para que se dé la simbiosis entre la planta y el hongo se requiere de un reconocimiento que resulta bastante complejo y los cuales conducen al establecimiento de esta relación. En general, la vida del hongo depende de varios pasos, sobre todo la presencia de una planta hospedante y la fase de reconocimiento en la cual la planta no aprecie al hongo como un atacante. Así mismo, otros elementos importantes son la señalización y comunicación entre el hongo y la planta y el proceso completo de colonización.

Cuando la planta no ha sido colonizada esta envía señales al hongo, sobre todo si crece en un ambiente escaso o bajo en fósforo. Estas señales consisten en compuestos volátiles que forman parte de los exudados

de las raíces; entre los cuales se encuentra el dióxido de Carbono el cual el hongo utiliza para el crecimiento de hifas.

Cuando finaliza el reconocimiento inicia el proceso de colonización el cual se divide en 3 etapas a saber

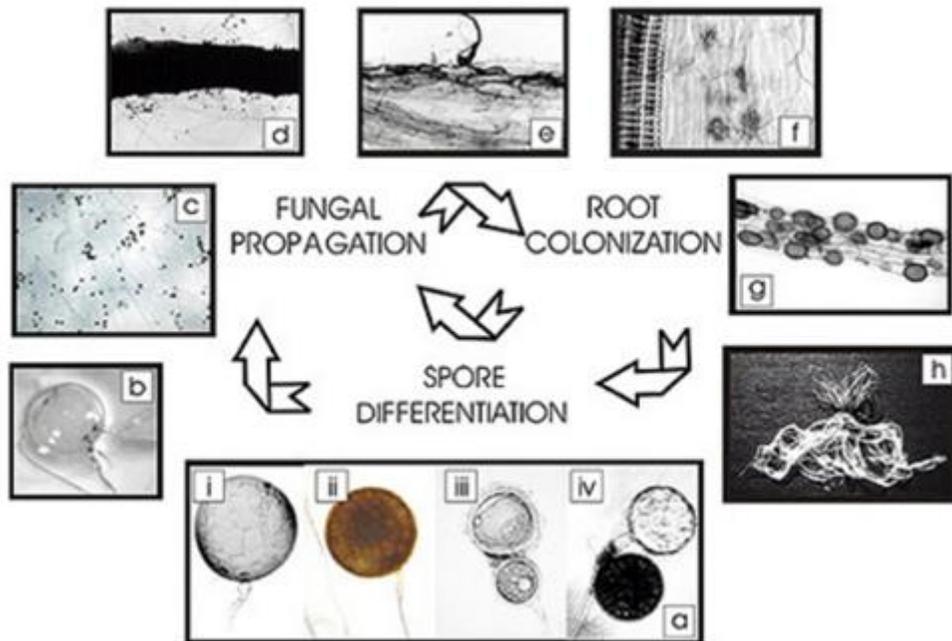
Etapa 1: Aquí se da la diferenciación de la espora, propagación del hongo e identificación mutua entre la planta y el hongo (reconocimiento), y viceversa, en la rizósfera, o en regiones próximas a las raíces o pelos radicales.

Etapa 2: en esta etapa se da el acercamiento y acoplamiento progresivo y gradual del micelio y la raicilla produciéndose el contacto intercelular, al formarse una estructura que genera adhesión o une ambos especímenes.

Etapa 3: se produce la colonización lo que puede o no modificar al hospedero. Posteriormente se produce la integración fisiológica de ambos simbios (hongo-raíz), y por último se produce una alteración de las actividades enzimáticas, que se coordinan entre los simbios para integrar sus procesos metabólicos.

Imagen 2

Las 3 fases del proceso de colonización micorrízica



Nota: Franco Navarro, s.f., donde demuestra y explica la interacción y las fases del proceso de colonización micorrízica, cuando el hongo realiza su establecimiento en la raíz.

5.6 HONGO MICORRÍZICO (*Glomus sp.*)

El hongo micorrízico que se aborda en esta investigación es un hongo micorrízico arbuscular (HMA) el cual como se mencionó previamente está presente en la rizósfera. Los hongos MA pertenecen al phylum Glomeromycota, son poco conocidos, pero establecen gran importancia a nivel del suelo (Reyes Jaramillo, 2011). Así mismo, el término micorriza hace referencia a la asociación simbiótica entre las raíces del árbol en este caso y el hongo *Glomus sp*, estableciendo un mutualismo en donde ambos se benefician. El hongo obtiene carbohidratos de la raíz y este a su vez, beneficia a la raíz permitiéndole crecer, debido a que el hongo por sí mismo no es capaz de hacer fotosíntesis (Reyes Jaramillo, 2011).

Los hongos MA no pueden completar su ciclo de vida sin establecer, al menos, una relación simbiótica con la raíz de alguna planta; sin embargo, a pesar de que se puede generalizar no es posible establecer que todos los hongos MA se nutren de la misma manera ya que no se tiene conocimiento del alimento o nutrientes de varias especies (Reyes Jaramillo, 2011).

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Como primer ejercicio, se ubicó la situación problema, en este caso la continuidad de micorriza en una especie botánica y los cambios ambientales asociados al factor climático, edáfico e hidrológico que han podido ocasionar su permanencia.

Previo a las etapas investigativas se realizó una exploración del área general de muestreo, que incluye el área de preservación ambiental, la cual es un espacio físico en donde no se permiten intervenciones de alto impacto que alteren la condición natural evitando que el ecosistema se recupere de forma autónoma e integral. El recorrido de reconocimiento tenía como fin identificar cuántos individuos arbóreos de *Callistemon citrinus* estaban presente actualmente en el humedal, dado que este inventario no se realizó en el periodo de comparación anterior; el mismo pretende además verificar la presencia de la especie en el área de preservación ambiental. A su vez, tenía como foco demarcar las posibles zonas en donde no era conveniente realizar estudio de material vegetal y de suelo.

El análisis y estudio micorrízico de la especie botánica *Callistemon citrinus* permitió, entre otras cosas, confrontar los resultados obtenidos en el 2016 respecto a los individuos arbóreos con los actuales y las condiciones ambientales que han permitido o han limitado su desarrollo y con esto generar discusiones que determinarán la responsabilidad de los factores ambientales en el proceso.

Los procedimientos y materiales empleados fueron seleccionados pertinentemente y con ello se expone lo siguiente.

6.1 INSTALACIONES Y EQUIPOS

Se dispuso de las instalaciones de la RDH Santa María del Lago para realizar la extracción del material vegetal y análisis general de individuos arbóreos.

Adicionalmente se empleó el laboratorio de física y química de la Universidad ECCI para el análisis y tinción del material vegetal objeto de estudio; así mismo, para la observación microscópica de estructuras y la toma de las fotografías de las raíces estudiadas.

Se recurrió a los laboratorios del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para el estudio físico-químico de las muestras extraídas.

6.2 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Como área de estudio se ubicó nuevamente la Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago de la localidad de Engativá, posteriormente se realizaron visitas de reconocimiento en las cuales se evidenciaron aspectos físicos visibles y se estimaron puntos de intervención, además de la realización de un inventario de individuos arbóreos, algo sumamente necesario para realizar un correcto ejercicio de toma de muestras de suelo y de material vegetal, por otros parte, se consultaron nuevamente las condiciones climáticas de la zona para la respectiva comparación en el tiempo y todo esto para defender este documento basados en aspectos que resuelvan la pregunta problema.

Como *Callistemon citrinus* ya había sido seleccionado como variable, aparece ahora la denominada zona de preservación ambiental como nuevo elemento a estudiar dado que puede dar respuesta a los cambios que se evidencian en el comparativo y puntualmente en la relación simbiótica, teniendo en cuenta que dicha relación es susceptible a cambios por la influencia de las variables climáticas y ambientales presentes en el lugar y así analizar su variabilidad.

6.3 MUESTREO

Se tomaron 4 muestras de suelo y raíces posiblemente micorrizadas; estas últimas, se preservaron en bolsas ziplock y se marcaron de acuerdo al punto muestreado y de forma respectiva (Gráfico 3), hasta su análisis en el laboratorio. Como ya se había realizado un ejercicio en el 2016 se tenía conocimiento sobre el muestreo de raíces por lo que se tuvo en cuenta distancia al cuerpo principal de agua; las más lejanas (2 muestras) estaban a una distancia mínima de 5 m y máxima de 6 m y en cuanto a las cercanas (2 muestras) la distancia máxima fue de 2.5 m.

Imagen 3

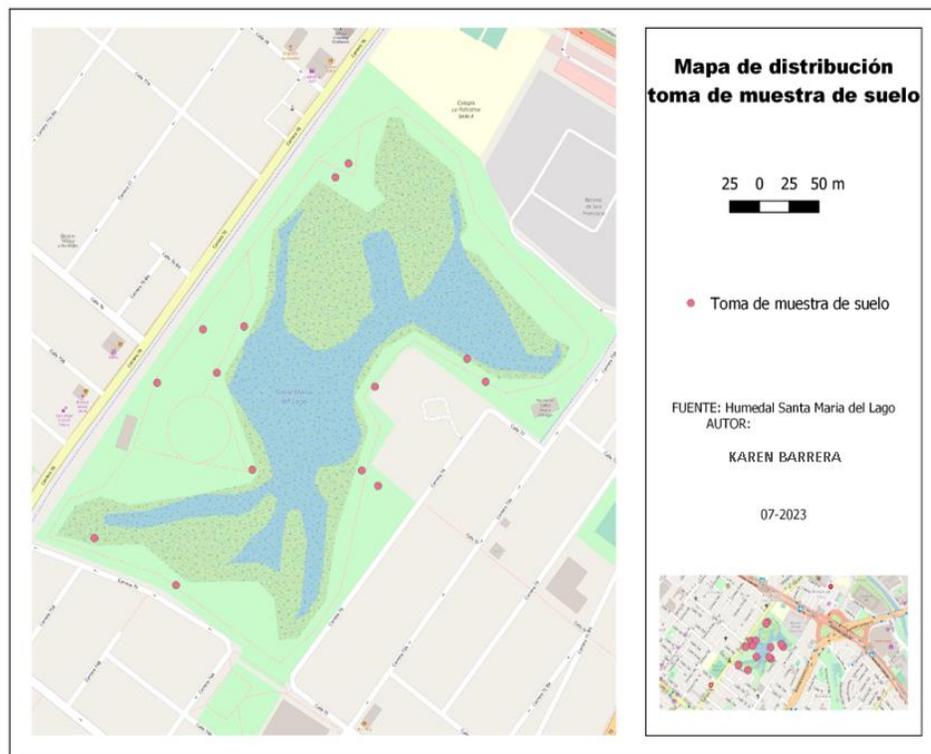
Ejemplo de muestras de suelo y raíz



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, donde se muestra la forma en la que se entregaron las muestras de suelo al Instituto Geográfico Agustín Codazzi y ejemplar de raíz para su estudio en laboratorio.

Las muestras de suelo para el área común fueron tomadas en los puntos indicados en el mapa 2, estas muestras fueron tomadas en proporciones para alcanzar la totalidad de 1 kg, adicionalmente se tomaron muestras generales en el área de preservación, las cuales se mezclaron para conformar una muestra compuesta de 1 Kg. Así mismo, se tomaron muestras para el estudio de la densidad del suelo, en los mismos puntos donde se extrajo raíz (mapa 3), las muestras que fueron extraídas In situ fueron cernidas para eliminar la mayor cantidad de impurezas y se empacaron y marcaron para su posterior análisis.

Mapa 2 Distribución de la toma de muestras de suelo



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, donde se demuestran los puntos ubicados en la RDH Santa María del Lago, para la toma de muestras de suelo compuestas de ambas zonas; común y de preservación.

*Individuos arbóreos tomados para muestreo; considerando que el humedal no tiene una forma definida o regular, el muestreo se realizó en Z intentando una distancia homogénea, tomando individuos de las dos áreas.

En cuanto a las muestras del material vegetal estas se tomaron lo más sencillas posibles; es decir, evitando que fueran demasiado gruesas o con demasiadas ramificaciones; por ende, se tomaron muestras que tuvieran una alta proporción de pelos radicales ya que bibliográficamente se encontró que en estas estructuras es más probable encontrar la asociación micorrízica, también se consideró esta sección de la raíz con el fin de evitar que estuvieran muy cercanas al tronco de la planta en cuestión, para minimizar el impacto. Para el estudio se estimó una media de 15 cm máximo de material vegetal por cada muestra, aunque en este punto cabe aclarar que hubo un individuo arbóreo que presentó una alta dificultad para la extracción de raíz, por lo que las muestras se ajustaron en proporción de acuerdo a la máxima longitud de raíz extraída de este individuo, puntualmente la muestra 6, esto dejó estandarizada la longitud de raíces en 7 cm.

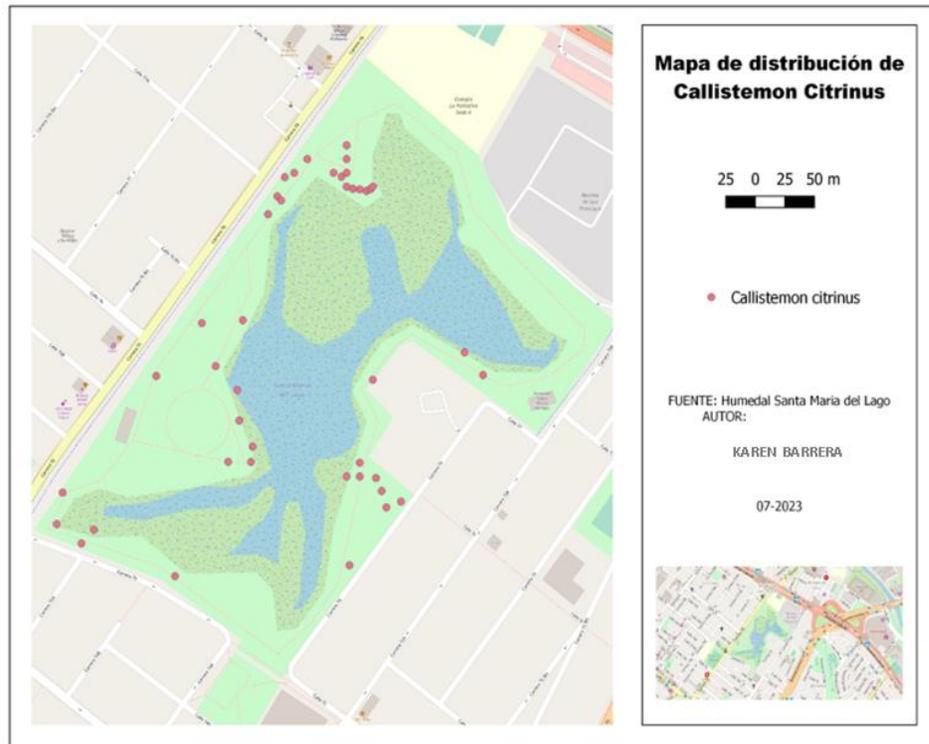
Mapa 3
Distribución de la toma de muestras de raíz



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, a partir de la ubicación espacial de las muestras tomadas de los individuos para estudio de sus raíces en el laboratorio.

En el mapa 4 se encuentran distribuidos los individuos de *Callistemon citrinus* identificados en el humedal; se puede apreciar una congregación de individuos en la parte norte, mientras que, en la zona de preservación, ubicada en la parte noroccidental, solo existen 5 individuos, lo cual demuestra los manejos diferenciados que reciben las zonas, en cuanto a su restauración ecológica.

Mapa 4
Distribución espacial de *Callistemon citrinus* en la RDH Santa María del Lago



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, donde se demuestra la totalidad de individuos presentes en el ecosistema de humedal, de *Callistemon citrinus*.

6.4 MÉTODO UTILIZADO PARA LA OBSERVACIÓN DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

En cuanto a los métodos empleados para la aplicación y medición de colonización micorrízica, se utilizó el mismo método que para el año 2016, dado que por bibliografía se pudo evidenciar que aún es útil y efectivo para la obtención de resultados; sin embargo, al momento de aplicar el colorante, el azul de metileno no fue tan efectivo, por lo que se decidió reemplazarlo por azul de tripano tal como lo indicaba el método de (Phillips & Hayman, 1970) y que fue modificado por (Bagyaraj & Sturmer, 2012).

El procedimiento está dividido en dos partes; un primer momento de clareo, en el cual se rompen las paredes de lignina de la raíz y se logra ablandar la misma; en una segunda fase se penetra en la corteza y se tiñen las paredes de la célula para facilitar la observación. Por lo anterior, el procedimiento llevado a cabo se realizó de la siguiente manera:

Primera parte: Clareo de raíces.

- a) Se lavaron las raíces con agua potable con el fin de eliminar residuos de suelo y otros elementos innecesarios.

- b) Se utilizó la solución de Hidróxido de Potasio (KOH) a una temperatura de 97°C en plancha de calentamiento para iniciar la despigmentación del material vegetal (raíces) por aproximadamente una hora.
- c) Luego se eliminó el KOH por medio de enjuague acuoso, hasta evidenciar que no tuviera restos de la solución anterior.
- d) Las raíces se sacudieron un poco y fueron sumergidas en Ácido Clorhídrico (HCL) por 2 minutos.
- e) Se retiraron las raíces de la solución de HCL ya que debían estar completamente acidificadas.

Luego de los procedimientos anteriores, se dejaron en reposo las raíces durante aproximadamente 20 minutos, al ambiente sin solución, mientras se preparaban los reactivos a utilizar en la tinción.

Imagen 4

Preparación de raíces para tinción (clareo)



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, se muestra respectivamente el calentamiento con Hidróxido de Potasio (KOH), posteriormente la acidificación de raíces en Ácido Clorhídrico (HCL) y por último el reposo de las raíces para su tinción.

Segunda parte: Tinción de raíces.

Para realizar este procedimiento es indispensable que el agua en la cual van a calentarse las raíces y que van a permitir que el azul de tripano ingrese a las paredes de las mismas, permanezca a una alta temperatura; es decir, lo que permita la temperatura ambiente, en este caso a 97°C.

Se realizó la tinción de las raíces en una solución acidificada de glicerol con azul de tripano a 97°C en plancha de calentamiento por aproximadamente 26 min.

Las raíces se conservaron en solución acidificada de glicerol sin azul de tripano, a temperatura ambiente mientras se realizaba la observación en microscopio.

Las raíces quedaron teñidas, lo cual permitió la observación de las estructuras fúngicas.

Imagen 5

Tinción de raíces para identificación en el microscopio



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, raíces en calentamiento con azul de tripano, posteriormente se observan las raíces teñidas y por último las raíces listas para observación conservadas en una solución acidificada de glicerol.

6.5 MEDICIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

La determinación de la colonización micorrízica se realiza con el fin de determinar un porcentaje aproximado de hifas (si las hay) en una muestra. Esta medida estima el crecimiento de un aislamiento fúngico al interior de la raíz (Bagyaraj & Sturmer, 2012).

Para realizar este procedimiento se empleó el método de intersección de cuadrante de (Phillips & Hayman, 1970) empleado por (Bagyaraj & Sturmer, 2012) con el fin de medir la longitud de la raíz y el porcentaje de colonización con una variación relacionada con los insumos pues en los materiales que sugiere la bibliografía se debería emplear una caja de Petri con fondo cuadrado; sin embargo, para realizar este apartado se empleó un papel milimetrado para realizar el conteo de los cruces horizontales y verticales.

Para el desarrollo del procedimiento de medición, se eligieron 4 individuos arbóreos con la siguiente distribución: 2 individuos de la zona común; puntualmente uno cercano y uno lejano al cuerpo de agua, validando visualmente que mantuvieran y/o conservaran el mismo porte y talla. Este mismo ejercicio se aplicó para los individuos arbóreos del área de preservación.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado y conforme a su ubicación se entiende que; Lejos (L), cerca (C) del cuerpo principal de agua y (c) área común y (p) área de preservación; se identificaron las muestras como Lc y Cc; y Lp y Cp. Los dos grupos mencionados hacen referencia a; Lc (lejos en la zona común y Cc cerca en la zona común; Lp lejos en la zona de preservación y Cp cerca en la zona de preservación.

Se estableció el porcentaje de colonización de cada raíz teniendo en cuenta el área ocupada por las hifas del hongo de acuerdo a la siguiente fórmula:

Fórmula 1 (Phillips & Hayman, 1970)

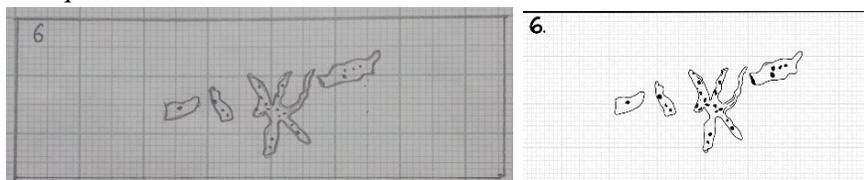
$$\%CM = \frac{\text{Número total de intersecciones con raíces micorrizadas}}{\text{Número total de intersecciones entre la raíz y las líneas de la cuadrícula}} \times 100$$

Empleando las cuadrículas de la hoja milimetrada se realizó el conteo de las colonias presentes en las raíces. El proceso realizado se describe a continuación:

1. Se ubicó en el portaobjetos una a una las raíces para ser identificadas en el microscopio.
2. Utilizando el microscopio se realizó la identificación de las colonias.
3. Se realizó un croquis en una hoja milimetrada en donde se ubicaron los puntos correspondientes a la presencia de hifas del hongo observadas en cada muestra (ver Ilustración 8)
4. Se realizó el conteo de las intersecciones de las raíces con las líneas de la cuadrícula tanto horizontales como verticales, esto con el fin de determinar el porcentaje de colonización micorrízica en cada muestra evidenciado en la ilustración 8.

Ilustración 8

Croquis de las muestras de suelo



Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de las muestras de raíz extraídas de los individuos, en donde se evidencian las intersecciones con respecto a la colonia y las cuadrículas del papel milimetrado.

6.6 OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE ESTRUCTURAS DEL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA ARBUSCULAR

Así como se realizó en el año 2016, con el fin de determinar las estructuras del hongo formador de micorrizas, se utilizó un microscopio especializado empleando los aumentos X4 y X10 para una mejor observación, de este modo se realizó la toma de fotografías con ayuda de un celular debido a que la cámara del laboratorio no permitió enfocar adecuadamente las partes de interés, por ello se recurrió a la toma de fotografías de la manera convencional acercando la cámara al ojo del microscopio.

Las imágenes permitieron en este caso identificar si el hongo seguía presente en las raíces de los individuos seleccionados y en qué proporción, diferenciando los individuos cercanos al espejo de agua y lejanos a este, adicionalmente se logró observar también las raíces de los individuos de la zona de preservación.

6.7 PARÁMETROS AMBIENTALES

En materia ambiental se analizaron las variables relacionadas con factores climáticos en la zona en la que se realizaron los muestreos, para determinar su incidencia o relación directa o indirecta con las condiciones que presentaban los individuos de *Callistemon citrinus* en cuanto a su estado, crecimiento y floración. Para ello, el día del muestreo se verificaron los parámetros climáticos demostrados en la siguiente tabla.

Tabla 6
Parámetros ambientales zona de influencia RDH

PARÁMETRO	CONVENCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Temperatura	T	(°C)
Humedad relativa	Hr	(%)
Velocidad del viento	Vv	(km/h)
Temperatura mínima del aire	T-	(°C)
Cantidad de nubes	Nc	(%)
Cantidad de precipitaciones	Pp	(milímetros)

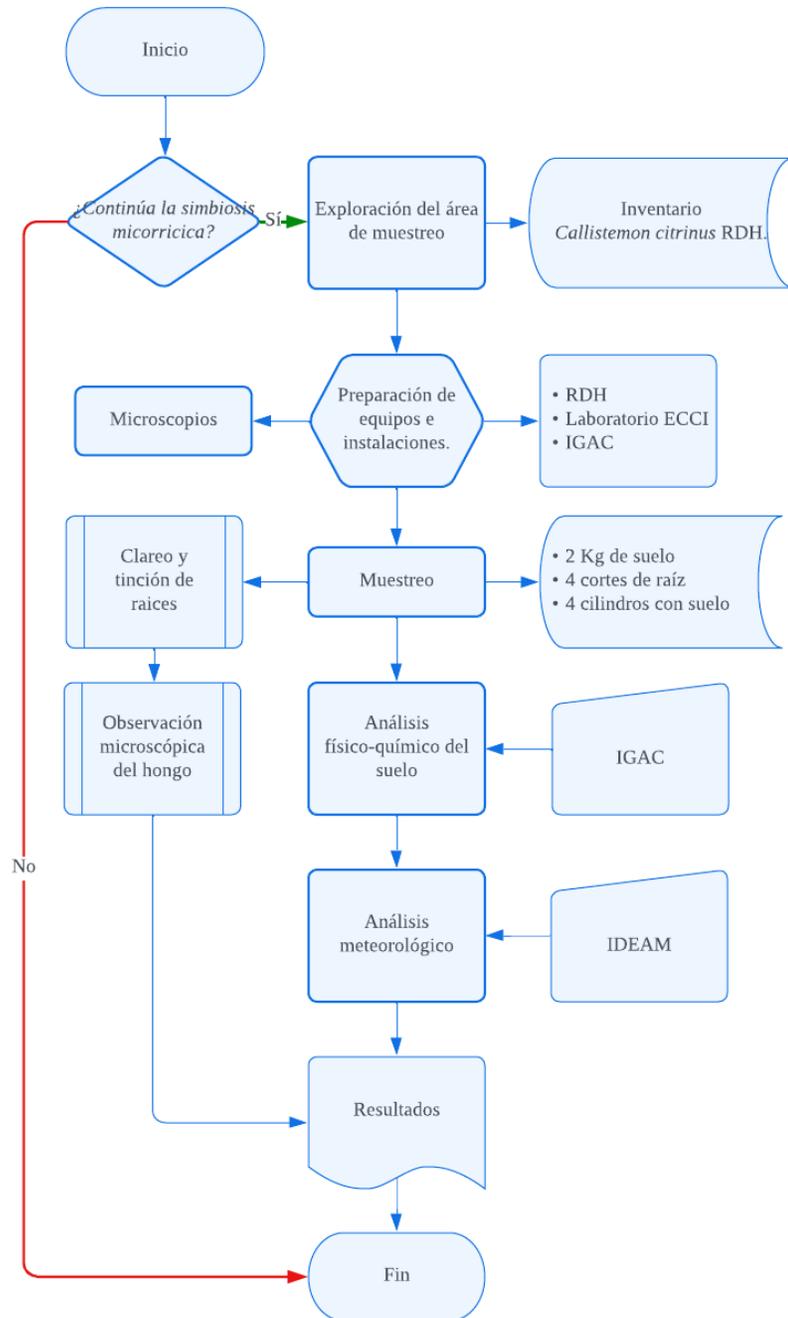
Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los datos necesarios para establecer diferencias entre los años 2016 y 2023, con respecto a los reportados por la estación hidrometeorológica del IDEAM; Aeropuerto el Dorado.

6.8 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Las características de un suelo están determinadas tanto por la influencia de actividades antrópicas, como por el material parental de éste, lo cual determina el microclima de la rizósfera en la cual se establece la asociación micorrízica. para este segundo ejercicio y a diferencia del primero se logró determinar bibliográficamente que la ausencia o insuficiencia de fósforo es el principal iniciador de la simbiosis y parte del alimento del hongo colonizador.

Teniendo en cuenta lo anterior, después de que las muestras fueron cernidas y nuevamente almacenadas en bolsas Ziplock, se prosiguió a mezclar las tres muestras generales tomadas en puntos al azar en donde no se evidenciaba presencia puntual de individuos de la especie en cuestión, obteniendo de esta manera dos muestras de 1 kg cada una dado que una pertenece a la zona de acceso común y otra la de preservación ambiental. Las muestras fueron llevadas a los laboratorios de suelos del Geográfico Agustín Codazzi a donde para realizar un análisis físico-químico de las mismas. Lo anterior con el fin de identificar micronutrientes, **Fósforo disponible**, pH y textura, y así comprobar que estos parámetros ambientales son influyentes en el desarrollo de la especie.

Figura 1
Diagrama de flujo metodología



Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de las actividades ejecutadas durante la investigación

7. RESULTADOS ZONA COMÚN

7.1 OBSERVACIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

El método empleado para clarear las raíces y teñir el hongo fue efectivo aún con las modificaciones realizadas al mismo; sin embargo, se tuvieron algunas dificultades en la tinción y fue necesario repetir esta parte del procedimiento 4 veces, las 3 primeras utilizando azul de metileno, mientras que en la última repetición se empleó azul de tripano al 0.05 %; así mismo, la utilización de hidróxido de potasio - KOH al 10% garantizó la calidad de la tinción de las micorrizas debido a que degrada las paredes celulares de la raíz en concentraciones altas, como las utilizadas en este estudio, ya que otros autores como (Valencia & Zúñiga, 2015) evidenciaron que a concentraciones menores a 10% la observación no es totalmente clara. Por otro lado, el tiempo de calentamiento y la temperatura empleados fueron óptimos para el proceso pues se tuvo en cuenta el grosor de la raíz (procurando que las muestras fueran lo más parecidas posibles en proporciones) y el contenido de taninos (Symborg, 2020) luego, lo que ocurrió fue que el ácido clorhídrico - HCl al 1% neutralizó la base de hidróxido de potasio - KOH con el fin de que el colorante pudiera penetrar en la raíz.

Al observar las raíces luego de su paso por el colorante, se evidenció que no se tiñeron en su totalidad, posiblemente porque su grosor no lo permitió; sin embargo, la tinción llevada a cabo fue efectiva, pues se extrajeron cortes de las áreas de la raíz adecuadamente teñidas para su posterior observación bajo el microscopio. Luego, con el fin de regular el pH y para evitar la oxidación de la pared celular de las muestras, se empleó peróxido de hidrogeno - H₂O₂ alcalinizado el cual también neutralizó los radicales libres producto del proceso de acidificación (Valencia & Zúñiga, 2015).

7.2 MEDICIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

Para poder cuantificar la colonización micorrízica se realizaron gráficas en papel milimetrado en las cuales se replicó el tamaño de cada raíz analizada, se realizó de esta manera para poder llevar a cabo una correcta comparación respecto a los resultados obtenidos en el año 2016. Este procedimiento garantiza duplicar el área ocupada por hifas y otras estructuras.

Fórmula 1 (Phillips & Hayman, 1970)

$$\%CM = \frac{\text{Número total de intersecciones con raíces micorrizadas}}{\text{Número total de intersecciones entre la raíz y las líneas de la cuadrícula}} \times 100$$

Después de emplear la fórmula 1, propuesta por (Phillips & Hayman, 1970). se obtuvo los siguientes resultados para las muestras de raíz evaluadas:

IV: Intersecciones verticales

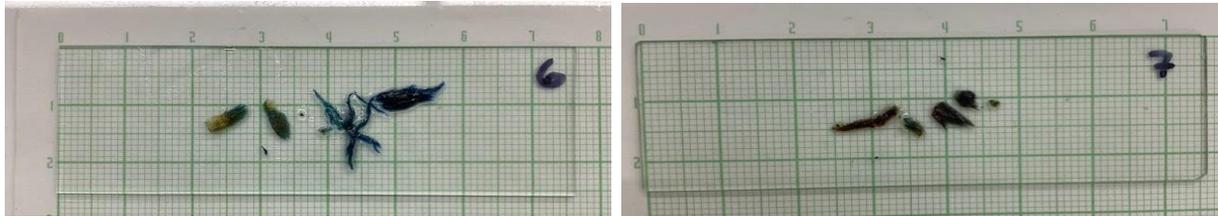
IH: intersecciones horizontales

CV: colonias verticales

CH: colonias horizontales

Imagen 6

Intersecciones y colonias de las muestras de raíz en la zona común



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, se observa la muestra 6 en donde sus resultados fueron 31 IV; 11 CV; 19 IH y 15 CH, la suma de ellos respectivamente dio un total de 50 intersecciones y 26 colonias. Por su parte la muestra 7 obtuvo resultados de 22 IV; 16 CV; 6 IH y 11 CH, lo que arrojó como resultado 28 intersecciones y 27 colonias.

Teniendo como referente el gráfico 6 y después de aplicar la fórmula 1 se obtuvo el porcentaje de colonización arrojando los siguientes resultados:

- Para la muestra 6

$$\frac{25}{50} \times 100 = 52\% \text{ de colonización}$$

- Para la muestra 7

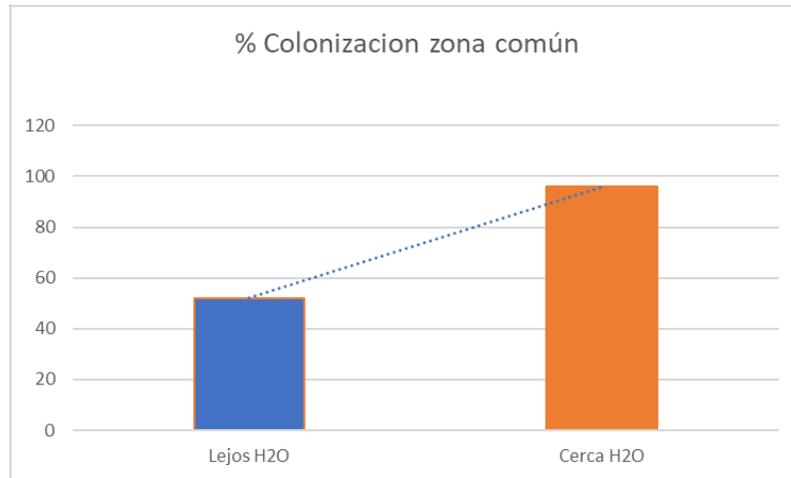
$$\frac{27}{28} \times 100 = 96\% \text{ de colonización}$$

El porcentaje de colonización para los individuos estudiados en la zona común obedecieron a 52% y 96% para individuos lejanos y cercanos al cuerpo principal de agua respectivamente como se expresa en el gráfico 7. Así mismo se pudo evidenciar una notoria diferencia en cuanto a porcentaje de colonización se refiere, debido a que el individuo lejano presentó una raíz delgada y muy difícil de extraer, esto por el estrés hídrico bajo el cual se encuentra, lo que no le permite que el árbol absorba la cantidad de agua necesaria, ya que esta se evapora muy rápidamente y al estar lejos tampoco puede aprovechar el agua presente en el humedal.

Por su parte el individuo cercano al cuerpo de agua, presentó una raíz fácil de extraer y un poco más gruesa; lo anterior supone que, al estar cerca del agua, el árbol establece un mayor porcentaje de colonización dado que no se encuentra bajo estrés hídrico y sí está aprovechando y adquiriendo los nutrientes que el recurso le puede brindar.

Gráfica 1

Porcentaje de colonización de micorriza en la zona común



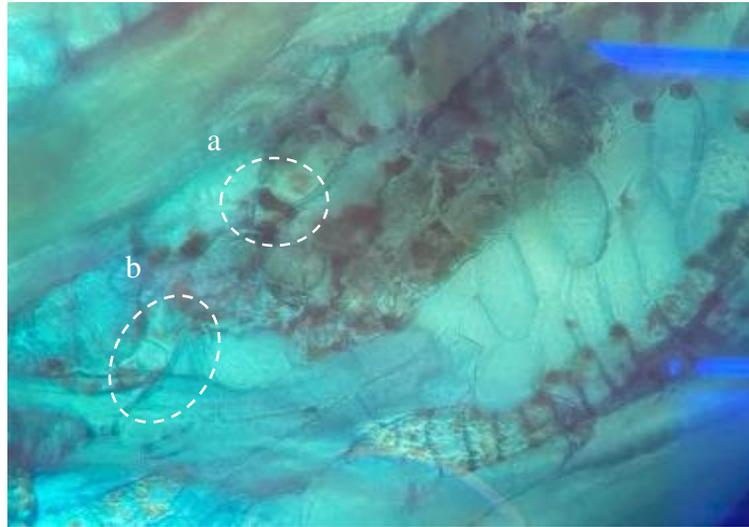
Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los resultados obtenidos en la medición de la colonización micorrízica, en donde se expresa 52% para individuos lejanos y 96% para individuos cercanos al cuerpo principal de agua.

7.3 OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ESTRUCTURAS DEL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA ARBUSCULAR

Los cortes de raíz realizados, permitieron la observación bajo el microscopio de las estructuras del hongo en las muestras de la zona común, en donde se lograron ver algunas de ellas como; arbusculos e hifas en la muestra número 6 (imagen 7) del árbol lejano al espejo o cuerpo de agua; sin embargo, el uso de microscopios con ópticas limitadas no permitió observar la misma cantidad de estructuras del hongo como sí ocurrió en el año 2016.

Imagen 7

Arbúsculos (a) e hifas (b) del individuo lejano al cuerpo de agua

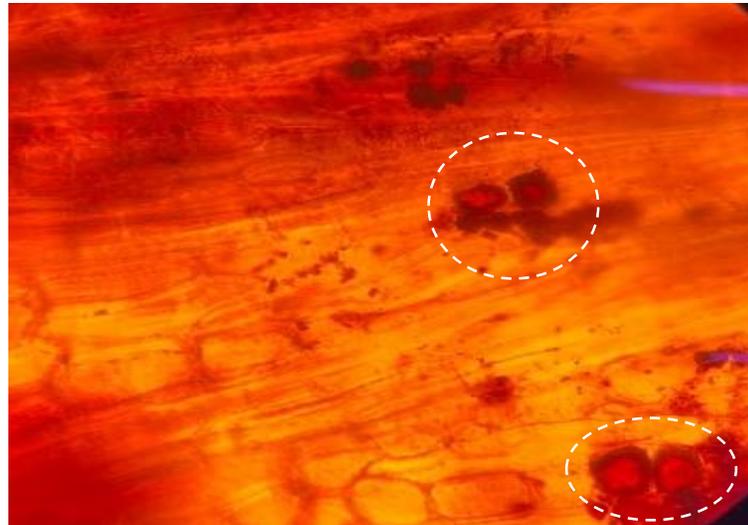


Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de la observación microscópica en aumento 4X de arbúsculos e hifas.

Al observar microscópicamente las raíces teñidas del individuo cercano al agua (muestra 7) se pudo observar mayor presencia del hongo colonizador como se evidencia en la imagen 8 a continuación:

Imagen 8

Estructura total del hongo en el árbol cercano al agua



Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de la observación microscópica en aumento 4X, en donde se evidencia el encapsulamiento del hongo en la pared celular de la raíz.

7.4 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES

Se tomaron los valores de los parámetros ambientales que se relacionan en la tabla 7 de la estación meteorológica del IDEAM, Aeropuerto el Dorado, la cual fue seleccionada dado que es la estación más cercana al punto de estudio y toma valores representativos y completos según el periodo de tiempo seleccionado. El rango valuado fue de 8 días, siendo el octavo en el cual se tomaron las muestras finales. Se realizó de esta manera para observar la variación de los factores ambientales en esa semana.

Tabla 7

Parámetros ambientales estación meteorológica Aeropuerto El Dorado

PARÁMETRO	VALOR PROMEDIO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Temperatura (T)	18, 4°	14, 25° (18/07/23)	21,9 (11/07/23)
Humedad relativa (Hr)	81%	67% (11/07/23)	
Velocidad del viento (Vv)	4,3 m/s	5,1 m/s (11/07/23)	
Diferencia de temperatura (T-)	5, 0° (22/06/16)		
Nubosidad (Nc)	50%		
Precipitación (Pp)*	42 mm		

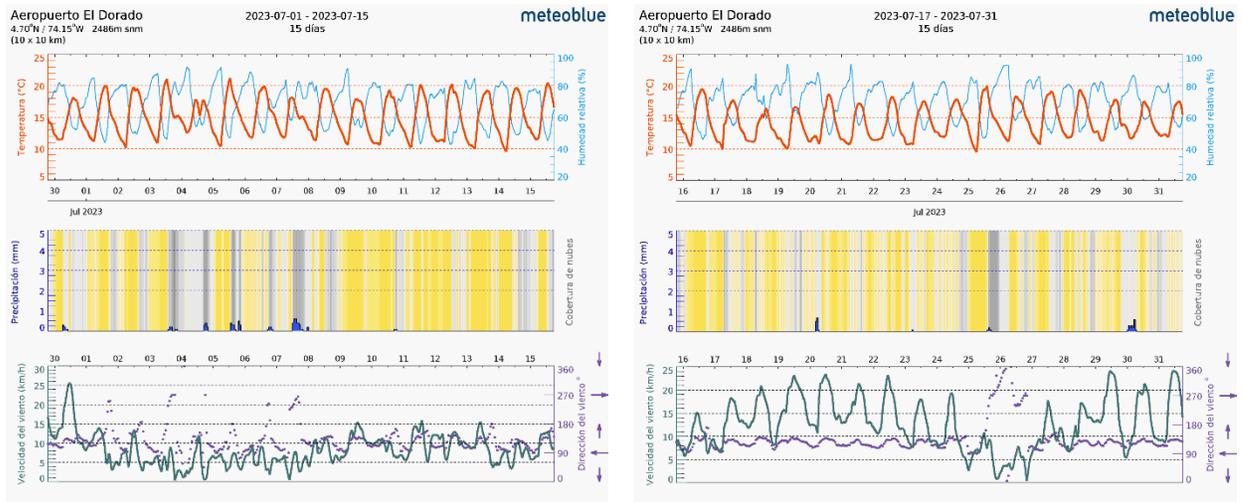
Nota: IDEAM, 2023, parámetros extraídos de los reportes que arroja el equipo de monitoreo.

*Este valor no indica la precipitación dada en la semana de estudio sino la media mensual tomada en la estación de monitoreo Aeropuerto el Dorado de la localidad de Engativá y que corresponde al área de influencia de la RDH.

Así mismo para identificar la variación de los parámetros de precipitación se tomó como referencia el gráfico reportado por el IDEAM para estos días seleccionados; 15 días previos a la toma de la muestra de raíces y 15 días posteriores al suceso:

Gráfica 2

Fluctuación de precipitación 15 día previos y 15 días posteriores del día de toma de muestras vegetales



Nota: IDEAM, 2023, reporte del comportamiento de la precipitación reportada para el mes de julio.

Las muestras finales se tomaron el 18 de julio y para ese día la precipitación media del mes estuvo por debajo de los 10 mm lo cual significa que no llovió con abundancia, pero la humedad relativa fue muy alta, dado que se trata de una zona húmeda y esto sumado al hecho de que las temperaturas estuvieron en el límite de los 20°C aumentaron considerablemente la evapotranspiración y, por ende, la disponibilidad de agua gaseosa en el ecosistema.

En los últimos quince días se encuentra el día 18 en el cual se tomaron las muestras de raíz y en donde se observa que no hubo precipitaciones e incluso a lo largo de esa semana no se presentaron precipitaciones hasta el día 20 y nuevamente el 23 con una moderada precipitación; es decir que los individuos arbóreos estuvieron bajo el fenómeno de estrés hídrico leve.

Dado lo anterior, se puede argumentar que existe un alto impacto positivo de las micorrizas, de acuerdo con (Franco Navarro, s.f.) esta especie botánica presenta estrés abiótico cruzado; es decir, una tolerancia inducida por la aclimatación de otro. Se esperaría que luego de 7 años, los individuos cercanos del cuerpo de agua principal continuaran presentando mayor colonización, pero las raíces fueron más gruesas; por su parte, los lejanos presentaron menor envergadura de raíz, pero una micorrización más representativa.

7.5 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO

Los suelos tropicales carecen de la presencia de Fósforo (P); sin embargo, en las muestras de suelo enviadas para su estudio al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se pudo comprobar una buena disponibilidad de este nutriente; sin embargo, existe una gran competitividad por la adquisición de este elemento, por lo que algunos individuos presentan características físicas incluso superiores a la media de crecimiento y otros, por el contrario, presentan un déficit de crecimiento y follaje.

La tabla 8 muestra la cantidad de Fósforo (P) presente en el humedal, la cual representa una buena cantidad en el suelo, pues se tiene conocimiento de que este ejemplar arbóreo requieren un aproximado de 50 kg/ha (Barrera Echavarría, 2012) y al realizar conversión de Fósforo disponible, los valores de estas unidades fueron de 460 kg/ha; sin embargo, en la misma tabla se puede observar que el pH tiende a ser un poco ácido, pese a ello está dentro de los parámetros normales y estables para la siembra de cualquier especie arbórea en áreas tropicales.

Las características mencionadas anteriormente se sustentan para el caso de estudio en el anexo D emitido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Tabla 8
Resultados del análisis Q01 del suelo de la RDH Santa María del Lago

GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	RELACIÓN	pH	COMPLEJO DE CAMBIO cmol (+)/Kg	FÓSFORO mg/Kg
ARENA %	LIMO %	ARCILLA %				CIC	Disponible
10.4	60.5	29.1	F Ar L	1:1	6.270	24.776	46.05

Nota: IGAC, 2023, resultados obtenidos de las muestras enviadas para su estudio al Instituto Geográfico Agustín Codazzi, de las muestras compuestas tomadas en la zona común.

Para que un suelo sea determinado como agente de cultivo adecuado para especies arbóreas, a nivel físico se debe establecer que la densidad aparente es una de las características más importantes, en donde no se debe superar valores entre 0.8 y 1.2, adicionalmente continuando a nivel de importancia la textura es una característica a tener en cuenta para que una especie se establezca y se desarrolle adecuadamente. Por otro lado, a nivel químico la forma en la que el árbol absorbe nutrientes va a depender de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) lo que determina su completa nutrición y así mismo el pH va a permitir o no el crecimiento y adquisición de nutrientes minerales y la permeabilidad del suelo. Por último, el carbono orgánico permite que las relaciones microbianas y/o biológicas se desarrollen adecuadamente para permitir relaciones mutualistas como las simbiosis micorrízica y la adquisición y aprovechamiento del recurso hídrico, por ello a continuación en las tablas 9, 10 y 11 se demuestran estos parámetros para el área común.

Determinación de la densidad aparente en húmedo y seco, densidad real y cálculo de la porosidad total

Muestras

- M1 = Zona común cerca al cuerpo de agua
- M2 = Zona común alejada al cuerpo de agua

Tabla 9

Determinación de la densidad aparente en húmedo y seco área común y área de preservación.

DENSIDAD APARENTE (HÚMEDO Y SECO) (g/cm³)		DATOS	
		M1	M2
Wc	Peso del recipiente vacío (g)	122,5	113,9
Wcsh	Peso del recipiente + suelo húmedo (g)	219,7	216,9
Wsh	Peso del recipiente + suelo húmedo (g)	97,2	103
Wcss	Peso del recipiente + suelo seco a 105 °C x 24 h (g)	193,1	193,4
Wss	Peso suelo seco a 105 °C x 24 h (g)	70,6	79,5
L	Longitud del cilindro (cm)	4,85	4,88
D	Diámetro del cilindro (cm)	4,84	4,72
CÁLCULOS			
V	Volumen del cilindro (cm ³)	89,23	85,39
Da-h	Densidad aparente en húmedo (g/cm ³)	1,09	1,21
Da-s	Densidad aparente en seco (g/cm ³)	0,79	0,93

Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los datos encontrados en campo de las muestras en zona común.

Tabla 10

Determinación de la densidad real área común y área de preservación.

DENSIDAD REAL (G/CM³)		DATOS	
		M1	M2
Wa	Peso del picnómetro vacío (g)	12,4	12,4
Ws	Peso del picnómetro más el suelo (g)	14,4	14,1
Ww	Peso del picnómetro más agua (g)	22,1	22,2

Wws	Peso del picnómetro más suelo más agua (g)	23,2	23,1
T	Temperatura del agua (°C)	20	20
CÁLCULOS			
Dr	Densidad real (g/cm ³)	2,2	2,1

Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los datos encontrados en campo de las muestras en zona común.

Tabla 11

Cálculo de la porosidad total área común y área de preservación

POROSIDAD TOTAL (%)		DATOS	
		M1	M2
Da-s	Densidad aparente en seco (g/cm ³)	0,79	0,93
Dr	Densidad real (g/cm ³)	2,2	2,1
CÁLCULOS			
Pt	Porosidad total (%)	64,09	55,71

Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los datos encontrados en campo de las muestras en zona común.

Gracias a las características edáficas presentes en la RDH, se puede asegurar que la asociación micorrízica permite a *Callistemon citrinus* aprovechar eficientemente los nutrientes y minerales presentes en el mismo, lo que permite que el árbol pueda continuar con su crecimiento y adaptación, de este modo compitiendo con las especies nativas pese a algunas limitaciones, como se demostró previamente en donde se indicó que las raíces disminuyeron o aumentaron su grosor con respecto a la ubicación espacial en el ecosistema de humedal.

8. RESULTADOS ZONA DE CONSERVACIÓN Y/O PRESERVACIÓN

8.1 OBSERVACIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

El método empleado para clarear las raíces y teñir el hongo fue exactamente el mismo que se empleó en los procesos llevados a cabo para la zona común; sin embargo, se pudo identificar más estructuras en los individuos de esta zona.

8.2 MEDICIÓN DE LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

Al igual que en la zona común, para poder cuantificar la colonización micorrízica se realizaron gráficas en papel milimetrado en las cuales se replicó el tamaño de cada raíz analizada, se realizó de esta manera para poder llevar a cabo una correcta comparación respecto a los resultados obtenidos en el año 2016. Este procedimiento garantiza duplicar el área ocupada por hifas y otras estructuras.

Fórmula 1 (Phillips & Hayman, 1970)

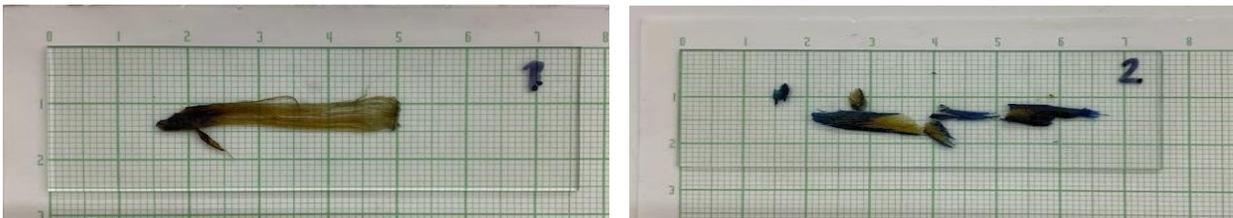
$$\%CM = \frac{\text{Número total de intersecciones con raíces micorrizadas}}{\text{Número total de intersecciones entre la raíz y las líneas de la cuadrícula}} \times 100$$

Después de emplear la fórmula 1, propuesta por (Phillips & Hayman, 1970) se obtuvieron los siguientes resultados para las muestras de raíz evaluadas de la zona de preservación:

- IV:** Intersecciones verticales
- IH:** intersecciones horizontales
- CV:** colonias verticales
- CH:** colonias horizontales

Imagen 9

Intersecciones y colonias de las muestras de raíz en la zona de preservación



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, se observa la muestra 1 en donde sus resultados fueron 45 IV; 7 CV; 16 IH y 8 CH, la suma de ellos respectivamente dio un total de 61 intersecciones y 15 colonias. Por su parte la muestra 2 obtuvo resultados de 42 IV; 26 CV; 19 IH y 18 CH, lo que arrojó como resultado 61 intersecciones y 44 colonias.

Teniendo en cuenta como referente la imagen 9 y después de aplicar la fórmula 1, se obtuvo el porcentaje de colonización arrojando los siguientes resultados:

- Para la muestra 1

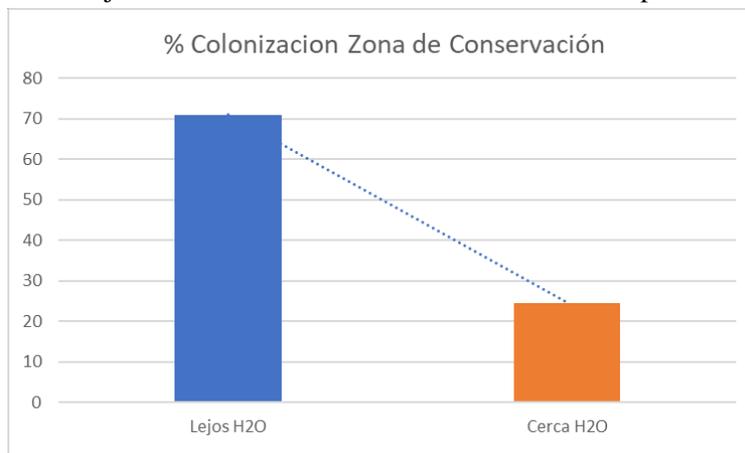
$$\frac{15}{61} \times 100 = 24.59\% \text{ de colonización}$$

- Para la muestra 2

$$\frac{44}{61} \times 100 = 72.13\% \text{ de colonización}$$

En la gráfica 3 se puede notar la diferencia en cuanto a la colonización y esto podría dar un indicador del estado de preservación que tiene la zona y que de acuerdo a los protocolos de cuidado que tiene la misma, han permitido que el suelo presente unas condiciones diferenciadas, aunque no muy marcadas con respecto a la zona común.

Gráfica 3
Porcentaje de colonización de micorriza en la zona de preservación



Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los resultados obtenidos en la medición de la colonización micorrízica, en donde se expresa 24.59% para individuos lejanos y 72.13% para individuos cercanos al cuerpo principal de agua.

Al incluir la zona de preservación ambiental se puede notar que el comportamiento de colonización es absolutamente cambiante, pues son los individuos alejados los que presentan mayor porcentaje de colonización mientras que los cercanos cuentan con un número menor de colonias. Son los parámetros fisicoquímicos del suelo los que permitirán comprender esta importante diferencia.

El número de individuos presente también indica que, aunque no se han establecido completamente en esta zona, sí han logrado generar una simbiosis más significativa, aunque, comparativamente con la zona común, no son más variados o visualmente llamativos o foliados. Se pudo evidenciar que la textura y el color del suelo de la zona de preservación, se encuentra en mejores condiciones, esto respaldado por los resultados del análisis realizado por el IGAC soportado en la tabla 12. Por otra parte, se debe tener en cuenta que en la zona de preservación no existen enmiendas ni actividades intensivas de mantenimiento; es decir, que se permite que la restauración se realice de forma natural, lo que puede beneficiar los procesos simbióticos.

8.3 OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ESTRUCTURAS DEL HONGO FORMADOR DE MICORRIZA ARBUSCULAR

Estos hongos identificados en la muestra 1 teñida de la zona de preservación y/o preservación ambiental, permitió observar sus estructuras en el microscopio en donde se logró ver algunas de ellas como: hifas (imagen 10), parte de la colonización en donde se ve el encapsulamiento conjunto con la célula (imagen

11); adicionalmente, se logró identificar la colonización en el individuo cercano al cuerpo de agua como se observa en la imagen 12.

Imagen 10

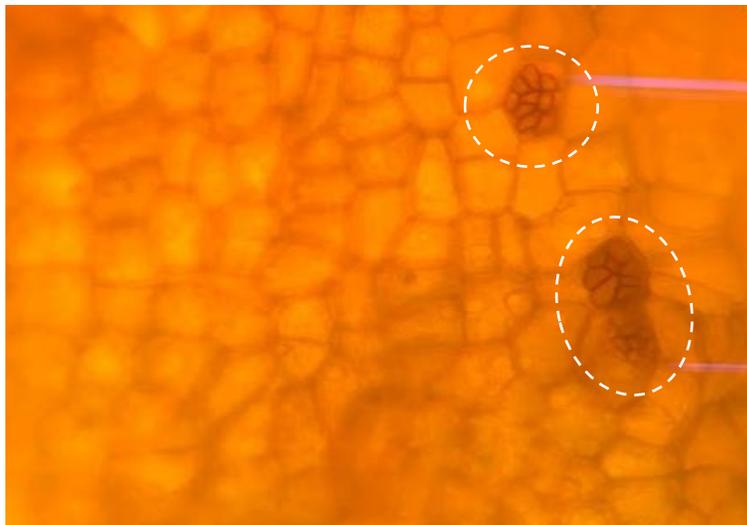
Hifas del individuo cercano al agua



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, a partir de la identificación de la muestra 1 extraída en la zona de preservación.

Imagen 11

Encapsulamiento en la célula



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, a partir de la identificación del encapsulamiento del hongo en las paredes celulares de la raíz del individuo en la muestra 1.

Imagen 12

Colonización del hongo en el individuo cercano al agua



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, a partir de la observación al microscopio de la raíz en el individuo 1 cercano al cuerpo de agua.

Así mismo, en el individuo de la muestra 2 de la zona de preservación, se pudo evidenciar que las estructuras del hongo no fueron completamente identificables (imagen 13); sin embargo, esto no significa que el hongo no esté presente, tal cual como se evidencia en el apartado 8.2, lo que quiere decir, que no necesariamente porque las estructuras estén completamente definidas va a existir una colonización mayor.

Imagen 13

Inicios de colonización micorrízica



Nota: Barrera & Chaverra, 2023, se puede evidenciar que no existe una gran presencia de estructuras definidas; sin embargo;

existe la colonización del hongo como se expresa en los cálculos del punto 8.2.

8.4 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES

Los datos tomados de la estación meteorológica del IDEAM; estación Aeropuerto el Dorado, son datos que se tomaron a nivel general de toda la RDH Santa María del Lago, ya que son datos pertenecientes a toda la localidad de Engativá y por ende no se tienen discriminados por zonas de la RDH.

En la zona de preservación el porcentaje de evapotranspiración es más determinante dado que por este sector es el ingreso de agua y los individuos de *Callistemon citrinus* cercanos al cuerpo de agua no exceden una distancia de 3 m, lo anterior significa que la disponibilidad del recurso es más asequible y garantiza un mejor aprovechamiento.

8.5 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO DE PRESERVACIÓN

La tabla 12 muestra la cantidad de Fósforo presente en el humedal, la cual representa una buena cantidad en el suelo, pues se tiene conocimiento de que este ejemplar arbóreo requieren un aproximado de 50 kg/ha (Barrera Echavarría, 2012) y al realizar conversión de Fósforo disponible, los valores de estas unidades fueron de 458 kg/ha; sin embargo, respecto de la zona común este valor es menor por 0.25 ; así mismo, se puede observar que el pH tiende a ser similar que en la zona común, pese a ello está dentro de los parámetros normales y estables para la siembra de cualquier especie arbórea en áreas tropicales, adicionalmente al tratarse de una zona de preservación se puede observar que los parámetros están un poco más estables que en la zona común, teniendo en cuenta adicionalmente que la CIC en esta área es superior en 3.725 unidades.

Tabla 12

Resultados del análisis Q01 del suelo de la RDH Santa María del Lago zona de preservación

GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	RELACIÓN	pH	COMPLEJO DE CAMBIO cmol (+)/Kg	FÓSFORO mg/Kg
ARENA %	LIMO %	ARCILLA %				CIC	Disponible
20.1	61.0	18.9	FL	1:1	6.240	28.501	45.80

Nota: IGAC, 2023, resultados obtenidos de las muestras enviadas para su estudio al Instituto Geográfico Agustín Codazzi, de las muestras compuestas tomadas en la zona de preservación.

Gracias a las características edáficas presentes en la RDH, se puede asegurar que la asociación micorrízica también está presente en la zona de preservación del humedal al cual solo tiene acceso personal autorizado, esto permite a *Callistemon citrinus* aprovechar eficientemente los nutrientes y minerales presentes en el

mismo, junto con la posibilidad de aprovechar la falta de compactación del suelo por actividad antrópica; sin embargo, en este espacio al contar solo con 5 individuos no se puede establecer directamente que se está bajo una condición de competencia con otras especies, lo que sí sucede en el área común.

Para que un suelo sea determinado como agente de cultivo adecuado para especies arbóreas, a nivel físico se debe establecer que la densidad aparente es una de las características más importantes, en donde no se debe superar valores entre 0.8 y 1.2, adicionalmente continuando a nivel de importancia la textura es una característica a tener en cuenta para que una especie se establezca y se desarrolle adecuadamente. Por otro lado, a nivel químico la forma en la que el árbol absorbe nutrientes va a depender de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) lo que determina su completa nutrición y así mismo el pH va a permitir o no el crecimiento y adquisición de nutrientes minerales y la permeabilidad del suelo. Por último, el carbono orgánico permite que las relaciones microbianas y/o biológicas se desarrollen adecuadamente para permitir relaciones mutualistas como las simbiosis micorrízica y la adquisición y aprovechamiento del recurso hídrico, por ello a continuación en las tablas 13, 14 y 15 se demuestran estos parámetros para el área de preservación.

Determinación de la densidad aparente en húmedo y seco, densidad real y cálculo de la porosidad total

Muestras

M3 = Zona de preservación cerca al cuerpo de agua

M4 = Zona de preservación alejada al cuerpo de agua

Tabla 13

Determinación de la densidad aparente en húmedo y seco área común y área de preservación

DENSIDAD APARENTE (HÚMEDO Y SECO) (G/CM3)		DATOS	
		M3	M4
Wc	Peso del recipiente vacío (g)	123	124,1
Wcsh	Peso del recipiente + suelo húmedo (g)	219,7	219
Wsh	Peso del recipiente + suelo húmedo (g)	96,7	94,9
Wcss	Peso del recipiente + suelo seco a 105 °C x 24 h (g)	197	193,1
Wss	Peso suelo seco a 105 °C x 24 h (g)	74	69
L	Longitud del cilindro (cm)	4,77	4,71
D	Diámetro del cilindro (cm)	4,81	4,88

DENSIDAD APARENTE (HÚMEDO Y SECO) (G/CM3)		DATOS	
		M3	M4
CÁLCULOS			
V	Volumen del cilindro (cm ³)	86,68	88,09
Da-h	Densidad aparente en húmedo (g/cm ³)	1,12	1,08
Da-s	Densidad aparente en seco (g/cm ³)	0,85	0,78

Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los datos encontrados en campo de las muestras en zona de preservación.

Tabla 14

Determinación de la densidad real área común y área de preservación

DENSIDAD REAL (G/CM3)		DATOS	
		M3	M4
Wa	Peso del picnómetro vacío (g)	12,4	12,4
Ws	Peso del picnómetro más el suelo (g)	14,4	14,3
Ww	Peso del picnómetro más agua (g)	22,3	22,1
Wws	Peso del picnómetro más suelo más agua (g)	23,4	23,1
T	Temperatura del agua (°C)	20	20
CÁLCULOS			
Dr	Densidad real (g/cm ³)	2,2	2,1

Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los datos encontrados en campo de las muestras en zona de preservación.

Tabla 15

Cálculo de la porosidad total área común y área de preservación

POROSIDAD TOTAL (%)		DATOS	
		M3	M4

Da-s	Densidad aparente en seco (g/cm ³)	0,85	0,78
Dr	Densidad real (g/cm ³)	2,2	2,1
CÁLCULOS			
Pt	Porosidad total (%)	61,36	62,86

Nota: Barrera & Chaverra, 2023 a partir de los datos encontrados en campo de las muestras en zona de preservación.

9. COMPARACIÓN

A continuación, se presentan en la tabla 16 los aspectos generales que se tuvieron en cuenta para la comparación de resultados de la zona común del año 2016 y los resultados obtenidos en el año 2023.

Tabla 16

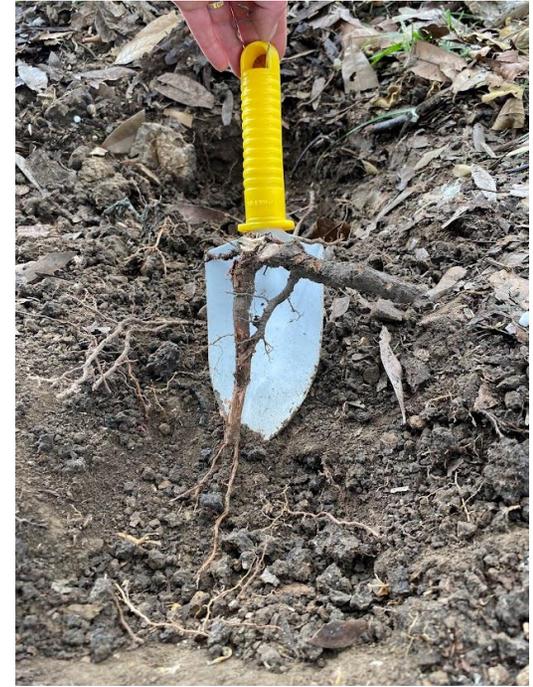
Aspectos generales de comparación

VARIABLE	AÑO 2016	AÑO 2023
TEXTURA DEL SUELO	Franco	Franco arcilloso limoso
MICORRIZA	% de colonización despreciable	% de colonización significativo
ESTRUCTURAS DEL HONGO	Identificados: arbusculos, vesícula e hifas	Identificados: arbusculos e hifas
PARÁMETROS AMBIENTALES	Parámetro más relevante en cuanto a cambio Hr 73%	Parámetro más relevante en cuanto a cambio Hr 81%
PRESENCIA DE HONGO MICORRÍZICO	Presente	Presente
FACILIDAD PARA ENCONTRAR Y EXTRAER RAÍZ	Fácil identificación y extracción en los individuos	Difícil identificación y extracción en individuo lejano al cuerpo de agua

ASPECTO FÍSICO DEL ÁRBOL



ASPECTO FÍSICO DE LA RAÍZ



A continuación, se describen una a una las características más relevantes en cuanto a los resultados obtenidos para el año 2016 y el año 2023.

Textura

Dado que el suelo es tan complejo y no funciona de manera lineal, se presentan diferencias estructurales y de homogeneización a nivel textural, lo cual significa que, en 7 años a través de procesos de enmienda y rectificación, el suelo sí ha cambiado en estos aspectos volviéndolo más rico en la disponibilidad de nutrientes. La disponibilidad de Fósforo (P) sigue siendo adecuada; sin embargo, la competencia por la adquisición del mismo se ha incrementado dado que se han sembrado nuevos árboles en los procesos de restauración; además de que la distribución del árbol no es uniforme, sino que existen zonas en donde se presentan grandes congregaciones, lo cual aumenta la competencia, así mismo en el año 2016 el suelo fue de textura franca y para el año 2023 Franca arcillosa limosa, lo que evidencia estos procesos de enmienda con más fuerza.

Micorriza

Para el presente estudio fue posible la identificación de estructuras formadoras de micorriza, lo cual permitió el conteo de colonias. Los porcentajes de colonización variaron de una zona a la otra de forma representativa por lo que sí son afectadas por condiciones edáficas e hídricas como se pudo observar en el apartado de resultados.

Estructuras del hongo

La mayor parte de las estructuras fueron identificadas en ambos ejercicios; sin embargo, en el periodo actual no fue posible encontrar vesículas; las cuales se encargan del transporte molecular, proteínas, material genético y metabolitos hacia la parte externa de la célula. La dificultad en la observación pudo deberse a la reacción de la raíz con el colorante y a la alteración del pH al momento de acidificar las muestras; así mismo la disponibilidad de microscopios más modernos.

Parámetros ambientales

Para el año 2016 las lluvias no influenciaron en mayor medida, pero en el periodo de 2023 se pudo evidenciar que la humedad relativa aumentó en un 8% aproximadamente lo que demuestra que el ciclo del agua fue más dinámico y el suelo no retuvo la cantidad de agua necesaria para el presente año; así mismo, pudo influenciar en el desarrollo de las raíces lejanas al espejo de agua ya que estas se esfuerzan más por conseguir y aprovechar este elemento.

Presencia del hongo micorrízico

Bibliográfica y experimentalmente se pudo confirmar que *Glomus sp* establece asociación con *Callistemon citrinus* y que esta asociación es el éxito en la adaptabilidad de esta especie en climas tropicales con

abundante competencia vegetal y en donde los espacios para que la planta se desarrolle adecuadamente son reducidos, dado que los humedales de la ciudad son urbanos y presentan diversos impactos antrópicos, es por ello que se confirma que el hongo formador de micorriza sigue presente en los árboles de la especie *Callistemon citrinus* en la RDH Santa María del Lago.

Facilidad para encontrar y extraer raíz

Para el año 2016 la extracción de la raíz y a su vez la identificación de la misma de forma visual, fueron tareas desarrolladas sin mayores complicaciones, ya que se encontró raíz a una profundidad aproximada de 20 cm en los individuos lejanos al cuerpo principal de agua y a una distancia no superior a 30 cm del tronco del árbol; sin embargo, para el año 2023 la labor de extracción fue más difícil debido a que no fue posible encontrar la raíz del individuo alejado al cuerpo de agua de manera sencilla, ya que esta se encontraba a una profundidad superior a los 20 cm, cabe resaltar que la raíz de este individuo en específico resultó ser más delgada de lo esperado, adicionalmente esto concuerda con que al estar alejado al cuerpo principal de agua, no desarrolla sus estructuras radiculares de manera firme al buscar agua, lo que tampoco permite que el hongo realice la simbiosis de manera adecuada, debilitando sus estructuras y favoreciendo el crecimiento de manera lenta en búsqueda de nutrientes. Pese a lo anterior se pudo extraer adecuadamente la muestra de raíz.

Aspecto físico del árbol

En este aspecto no es posible comparar de manera específica ya que el periodo de floración del árbol es a mediados de marzo y noviembre, lo que en su momento para el año 2016 fue favorable ya que las extracciones se realizaron sobre el primer trimestre del año, en el presente periodo de 2023 la extracción se hizo en el segundo semestre, lo que no permitió evidenciar floración abundante de los árboles, así mismo se puede decir que el follaje ha disminuido con el paso de los años y esto puede deberse a que existe mucha competencia de nutrientes con otras especies a pesar de que se cuenta con ellos a nivel del suelo, no es tan sencillo adquirirlos por *Callistemon citrinus*.

Aspecto físico de la raíz

Es evidente que la raíz ha cambiado con el paso del tiempo debido a diferentes factores ambientales y nutricionales del suelo, esto también es definido por la cercanía al cuerpo de agua como se ha venido expresando en todo el documento, lo que se pudo reconocer es que las raíces no superan 0,5 cm de diámetro en ambos casos tanto para el año 2016 como para el presente periodo.

10. CONCLUSIONES

- a) Para el año 2023 se comprobó que sigue existiendo presencia del hongo formador de micorriza *Glomus sp* y por ende la asociación micorrízica, adicionalmente se evidenció formación de colonias en los individuos de *Callistemon citrinus* evaluados; sin embargo, se pudo observar que para este año la presencia de la asociación se influenció directamente en la obtención y almacenamiento de agua, debido

a que los individuos cercanos al agua en la zona común cuentan con una raíz más gruesa y fácilmente extraíble, lo que determina el aprovechamiento hídrico y el desarrollo de la simbiosis micorrízica.

- b) Las condiciones determinantes para que la especie siga presente en el ecosistema de humedal fueron sin lugar a dudas, la humedad relativa y la cercanía al cuerpo principal de agua, estas condiciones son las que han favorecido a *Callistemon citrinus* al menos en los 7 años a preservarse; es decir, que las condiciones ambientales presentes en el humedal continúan favoreciendo a la especie aun cuando se han presentado cambios importantes y variaciones en el tiempo, pero también es importante destacar que la planta se ha adaptado muy bien a la competencia que le producen las especies nativas o estructuralmente más fuertes; es decir que *Callistemon citrinus* es tolerante a estas condiciones.
- c) El aumento de pH en la zona común se pudo deber al aumento de Calcio, Magnesio y Sodio y a la reducción de Potasio, lo que pudo deberse a la aplicación de enmiendas y el uso de fertilizantes, lo que no pasa en la zona de preservación; aun así, este parámetro no es determinante del todo en la asociación micorrízica, ya que se evidenció que estos parámetros están dentro de los adecuados para que cualquier especie se adapte en ambientes tropicales, por otro lado el Fósforo disponible supera lo necesario, ya que por bibliografía se sabe que *Callistemon citrinus* necesita de 50 kg/Ha y en el suelo existen 460 kg/Ha, lo que es más que suficiente para que las plantas allí presentes lo aprovechen adecuadamente.
- d) A pesar de que en este estudio se reemplazó el azul de metileno por azul de tripano como originalmente dice la bibliografía, no se vieron diferencias en cuanto a la identificación del hongo; sin embargo, es importante mencionar que el proceso tuvo que ser repetido en varias ocasiones ya que la tinción con azul de metileno no fue posible, pese a ello se comprobó la existencia de la micorriza y su porcentaje de colonización.

11. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda realizar los procesos de clareo y tinción según la bibliografía y método de (Bagyaraj & Sturmer, 2012) ya que como ejercicio práctico en laboratorio se utilizó autoclave y este proceso permitió identificar más claramente las estructuras del hongo y presencia de colonización; sin embargo, no fueron tenidos en cuenta en la presente investigación ya que no permitía comparar exactamente con el año 2016 en donde no se utilizó autoclave sino plancha de calentamiento.
- b) Realizar muestreos comparativos entre los individuos presentes en el área de preservación para el año 2023, con los individuos presentes en aproximadamente 7 años (2030) para determinar si pueden existir diferencias en la presencia del hongo micorrízico *Glomus sp* y si esta asociación sigue permitiendo que el árbol cuente con adecuada nutrición para su desarrollo y adaptación al medio.
- c) Realizar enmiendas de micorriza en individuos de *Callistemon citrinus* alejados por lo menos 5 metros o más con respecto al cuerpo principal de agua, para identificar si con la presencia de esta se puede incrementar o favorecer el crecimiento tanto en los individuos de la zona de preservación como en los de la zona común.

- d) Realizar un estudio del estado trófico del agua para identificar si las condiciones físico químicas del agua influyen en el mutualismo evidenciado entre el hongo *Glomus sp* y la especie arbórea *Callistemon citrinus*, ya que puede ser un factor determinante en el desarrollo de sus raíces.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá; Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis; Universidad de los Andes. (2020). *MANUAL DE COBERTURAS VEGETALES DE BOGOTÁ, D. C.* Obtenido de https://jbb.gov.co/documentos/cientifica/publicaciones/MANUAL_COBERTURAS_VEGETALES.pdf
- Australian National Botanic Gardens; Australian National Herbarium. (1972). *Callistemon citrinus*. Obtenido de <https://www.anbg.gov.au/gnp/gnp2/callistemon-citrinus.html>
- Australian National Botanic Gardens; Rod Harvey. (1995). *What is a Bottlebrush?* Obtenido de <https://www.anbg.gov.au/callistemon/index.html>
- Bagyaraj, J. D., & Sturmer, S. L. (2012). *Hongos Micorrizógenos arbusculares (HMA)*. Moreira: INE.
- Barea, J. M., & Azcon-Aguilar, C. (1983). Mycorrhizas and their Significance in Nodulating Nitrogen-Fixing Plants. *Advances in Agronomy*, 36, 1-54.
- Barrera Echavarria, S. (2012). *Fertilización en plantaciones forestales en el trópico*. Obtenido de Universidad de la Salle: <https://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2012/04/FERTILIZACION-EN-FORESTALES-EN-EL-TROPICO1.pdf>
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 57-57.
- Cacciola, S. O., Scibetta, S., Pane, A., & Faedda, R. (2009). *Callistemon citrinus* and *Cistus salvifolius*, Two New Hosts of *Phytophthora taxon niederhauserii* in Italy. *Plant Disease*, 93(10), 1075-1075. doi:10.1094/PDIS-93-10-1075A
- Carmargo-Ricalde, S. L., De la Rosa-Mera, C. J., & Montaña Arias, S. A. (2012). MICORRIZAS: UNA GRAN UNIÓN DEBAJO DEL SUELO. *Revista Digital Universitaria*, 13(7), 3-18. Obtenido de <https://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>
- Castellanos-M, C. A. (2021). *Los ecosistemas de humedales en Colombia* (Vol. 13). Colombia: Luna Azul. Obtenido de <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1478>
- Crillo, C., De Micco, V., Arena, C., Carrillo, P., Pannico, A., De Pascale, S., & Roupheal, Y. (2019). Biochemical, Physiological and Anatomical Mechanisms of Adaptation of *Callistemon citrinus* and *Viburnum lucidum* to NaCl and CaCl₂ Salinization. *Front Plant*, 10. doi:10.3389/fpls.2019.00742
- Delgado, E., Rosales, F., Trejos, J., Villalobos, M., & Pocasangre, L. (2010). Índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en cuatro países de América Latina y el Caribe. *Bioagro*, 22(1), 13-18.
- Falcón-Oconor, E., Cobas-López, M., & Bonilla-Vichot, M. (2020). Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares en el crecimiento y nutrición de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. *Hombre, Ciencia y*

- Tecnología*, 24, 5. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4411976004/index.html>
- Fassbender, H. W., & Bornemiza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (Segunda ed.). San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Obtenido de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6801>
- Franco Navarro, J. d. (s.f.). *Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas*. Obtenido de http://www.bioscripts.net/col/Apuntes/Nutricion_Vegetal/Trabajo_de_nutricion_vegetal.pdf
- Fundacion humedales Bogota. (2016). *Humedal Santa María del Lago*. Obtenido de <https://humedalesbogota.com/humedal-santa-maria-del-lago/>
- Guerrero, E., Sánchez, H., León, R. A., & Escobar, E. M. (1998). *Una aproximación a los humedales en Colombia*. Bogotá, Colombia: Guerrero.
- Guerrero, E., Sánchez, H., León, R. A., & Escobar, E. M. (1998). *Una aproximación a los humedales en Colombia*. Bogotá: Guerrero.
- Heywood, V. H. (1993). *Flowering plants of the world*. Oxford: Orford University Press.
- Instituto Humbolt Colombia; Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá; Invemar; Missouri Botanical Garden. (2014). *Biota Colombiana*, 15, 10-11. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/images/pdf/biota16/biota-15-1-enero-junio-2014.pdf>
- Lanzara, P., & Pizzetti, M. (1979). *Guía de árboles*. Barcelona: Grialbo S.A.
- López Mejía, A. (2018). *Efecto protecto del exactro de Callistemon citrinus en un modelo de cáncer de colon inducido en rata*. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1784/FB-M-2018-0411.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mohamed Z.M., S., Mervat, E.-H., Ramadan A, N., Hayssam M., A., Nader A., E.-S., & Hosam O., E. (2017). Medicinal and biological values of Callistemon viminalis extracts: History, current situation and prospects. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(3), 229-237. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.03.015>
- Mohsin, R. M. (2019). Landscape performance of callistemon citrinus under environmental stress conditions. *Theses and Dissertations*, 8-9.
- Nazareno Saparrat, M. C., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). *MICORRIZAS ARBUSCULARES*. Buenos Aires: UNLP.
- Neri-Luna, C., & Villareal-Ruiz, L. (2012). SIMBIOSIS MICORRÍCICA: UN ANÁLISIS. (H. M. Félix, Ed.) *Interacciones Ecológicas*, 37-61. doi:10.13140/2.1.3829.5361
- Pérez Rodríguez, Y., Valdés Herrera, R., Guerra de León, J. O., Madruga Suarez, M., & Castellanos González, L. (2020). Extractos de Pimenta dioica, Callistemon citrinus y Syzygium malaccense sobre Sitophilus oryzae. *Centro Agrícola*, 73-83.
- Phillips, J., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161. doi:[https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Reyes Jaramillo, I. (2011). La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *CBS*, 17-23. Obtenido de <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/81/pdfs/micorriza.pdf>

- Richer-de-Forges, A. C., Arrouays, D., Chen, S., Dobarco, M. R., Libohova, Z., Roudier, P., . . . Bourennane, H. (2022). *Hand-feel soil texture and particle-size distribution in central France. Relationships and implications* (Vol. 213). Amsterdam: Catena.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106155>
- Rivera, R., & Fernández, K. (2003). El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura. *GEOTECH*, 13-48. Obtenido de <https://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/3460/1/La%20Simbiosis%20micorrízica%20arbuscular.pdf>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2021). *Modelo: Informe de Gestión de parques Ecológicos Distritales de Humedales - PEDH*. Bogotá: PM03-PR41-M1.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2022). *Humedal Santa María del Lago*. Obtenido de <http://humedalesdebogota.ambientebogota.gov.co/inicio/humedal-santa-maria-del-lago/>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2022). *Humedales de Bogotá*. Obtenido de Los humedales de Bogotá: <http://humedalesdebogota.ambientebogota.gov.co/inicio/>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2023). *Visor Geoambiental*. Obtenido de <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/?lon=-74.097244&lat=4.694575&z=17&l=5:1|81:1>
- Shilpa, M., Kuppast, I., Virupaksha, J., Vanajakshi, M., & Prasad, K. (2015). Glossary of Callistemon lanceolatus D.C. – An ornamental plant with Marvellous Properties. *Research Journal of Pharmacology and Pharmacodynamics*, 7(4), 165-170. doi:10.5958/2321-5836.2015.00033.6
- Sutar, N. (2014). CALLISTEMON CITRINUS (BOTTLE BRUSH) AN IMPORTANT MEDICINAL PLANT: A REVIEW OF ITS TRADITIONAL USES, PHYTOCONSTITUENTS AND PHARMACOLOGICAL PROPERTIES. *Plant Sciences*, 10-13.
- Symborg. (2020). *¿QUÉ SON LAS MICORRIZAS?* Obtenido de MICORRIZAS, EL ALIADO IMPRESCINDIBLE PARA LA SALUD DE LA PLANTA: <https://symborg.com/es/que-son-las-micorrizas/>
- Universidad EIA. (2014). *Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá*. Obtenido de <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/74>
- Valencia, C., & Zúñiga, D. (2015). ANÁLISIS DE LA PRESENCIA NATURAL DE MICORRIZAS EN CULTIVOS DE ALGODÓN (*Gossypium barbadense* L.) INOCULADOS CON *Bacillus megaterium* Y/O *Bradyrhizobium yuanmingense*. *Ecología Aplicada*, 16-26. Obtenido de http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/micorrizas_en_algodon.htm
- Vecinos Verdes. (2018). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220984/Callistemon_citrinus.pdf

ANEXOS

ANEXO A. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ETAPA	ACTIVIDADES	INICIO ACTIVIDAD	FIN ACTIVIDAD
0. EXPLORATORIA Y DE ACTUALIZACIÓN.	Búsqueda de información y bibliografía actualizada.	02/02/2023	04/03/2023
	Lectura de información y clasificación de la misma.	02/02/2023	10/03/2023
	1ª Visita a la Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago (<i>zona común y zona de preservación</i>)	03/02/2023	03/02/2023
	Identificar estación monitoreo del aire más cercana.	14/02/2023	14/02/2023
	2ª Visita a la Reserva Distrital de Humedal Santa María del Lago.	25/02/2023	25/02/2023
1. MUESTREO	Tomar muestra compuesta de suelo en donde estén ubicados <i>Callistemon citrinus</i> (zona común y de preservación).	30/05/2023	02/06/2023
	Tomar muestra micorrízica A de individuos de <i>Callistemon Citrinus</i> conforme a la metodología sugerida bibliográficamente	14/06/2023	14/06/2023
	Tomar muestra micorrízica B de individuos de <i>Callistemon Citrinus</i> conforme a la	21/06/2023	21/06/2023

	metodología sugerida bibliográficamente		
	Tomar muestra micorrízica C de individuos de <i>Callistemon Citrinus</i> conforme a la metodología sugerida bibliográficamente	18/07/2023	18/07/2023
2. ANÁLISIS	Analizar muestras obtenidas del suelo	04/08/2023	06/08/2023
	Analizar muestras obtenidas de la raíz de <i>Callistemon citrinus</i> .	19/07/2023	21/07/2023
	Analizar datos obtenidos por bibliografía.	01/02/2023	08/08/2023
4. RECOPIACIÓN Y CREACIÓN DE DOCUMENTO FINAL.	Elaboración y obtención estadístico – matemática de variables ambientales.	01/05/2023	08/08/2023
	Obtención de resultados generales.	05/08/2023	06/08/2023
	Análisis de los resultados.	05/08/2023	08/08/2023
	Conclusiones y recomendaciones.	08/08/2023	09/08/2023

ANEXO B. TINCIÓN DE RAÍCES PARA OBSERVAR LA COLONIZACIÓN MICORRÍZICA

Método para la tinción de raíces para observar la colonización micorrízica utilizado por (Bagyaraj & Sturmer, 2012).

Materiales necesarios

- solución de KOH al 10% (hidróxido de potasio)
- solución de HCl al 1% (ácido clorhídrico)
- solución acidificada de glicerol, (500 ml de glicerol, 450 ml de H₂O, 50 ml de HCl al 1%)
- azul de tripano 0.05 % en solución de glicerol (0,5 g/l)
- H₂O₂ alcalinizada (3 ml NH₄OH al 20%, 30 ml de H₂O₂ al 3%, 567ml de agua).

Procedimiento

1. Lavar las raíces para eliminar residuos de suelo y enjuagar con varios cambios de agua.
2. Sumergir las raíces en KOH a 90°C por una hora o a 120°C por 15 minutos en autoclave.
3. Eliminar el KOH y enjuagar las raíces con agua (dos o tres veces) para quitar el exceso de KOH.
4. Si las raíces están demasiado pigmentadas se deben sumergir en agua oxigenada alcalinizada durante 10-30 minutos. Enjuagar nuevamente las raíces con agua.
5. Sumerja las raíces en HCL al 1% por cinco minutos.
6. Elimine el HCl. No enjuague las raíces en este paso ya que éstas deben estar acidificadas para una tinción adecuada.
7. Tiña las raíces en una solución de glicerol ácido con azul de tripano a 90°C por una hora o a 120 °C por cinco minutos.
8. Descargue la solución colorante y mantenga las raíces en glicerol acidificado (sin azul de tripano) o agua a temperatura ambiente o 4°C.

Comentarios: si lo desea, la solución de glicerol acidificada puede ser reemplazada por una solución de lactoglicerol (20 ml de ácido láctico, 40ml de glicerol y 40 ml de agua destilada). El paso 4 puede ser omitido si las raíces no están muy pigmentadas; a solución de agua oxigenada alcalinizada debe de prepararse justo antes de su uso. Para almacenar por un tiempo largo, las raíces pueden guardarse en agua adicionada con unas gotas de azida de sodio al 0.01%. Para los pasos 2 y 7, un baño de agua a 90°C es apropiado para mantener las muestras.

Medición de la colonización micorrízica

La determinación de la colonización micorrízica de la raíz, se realiza con frecuencia en raíces colectadas de campo (sacadas directamente del suelo o de plantas individuales) o en plantas experimentales, crecidas bajo condiciones del invernadero. Esta medida estima el crecimiento de un aislamiento de un hongo o de una

comunidad fúngica dentro de la corteza de la raíz. El método de intersección de cuadrante de Giovannetti & Mosse, (1980) que se presenta a continuación, es usado comúnmente para medir la longitud de la raíz y el porcentaje de la colonización micorrízica.

Material necesario

- Cajas de Petri cuadradas en la base con cuadrados de 1.1 x 1.1 cm.
- Agujas de disección.

Procedimiento

1. En una caja de Petri extienda al azar las raíces teñidas.
2. Bajo el microscopio de disección explore las líneas horizontales y verticales de la cuadrícula.
3. Registre: a) el número total de intersecciones de las raíces y las líneas de la cuadrícula y b) el número de intersecciones con raíces micorrizadas.
4. Calcule el porcentaje de colonización micorrízica (% CM) utilizando la siguiente fórmula:

Fórmula 1 (Phillips & Hayman, 1970)

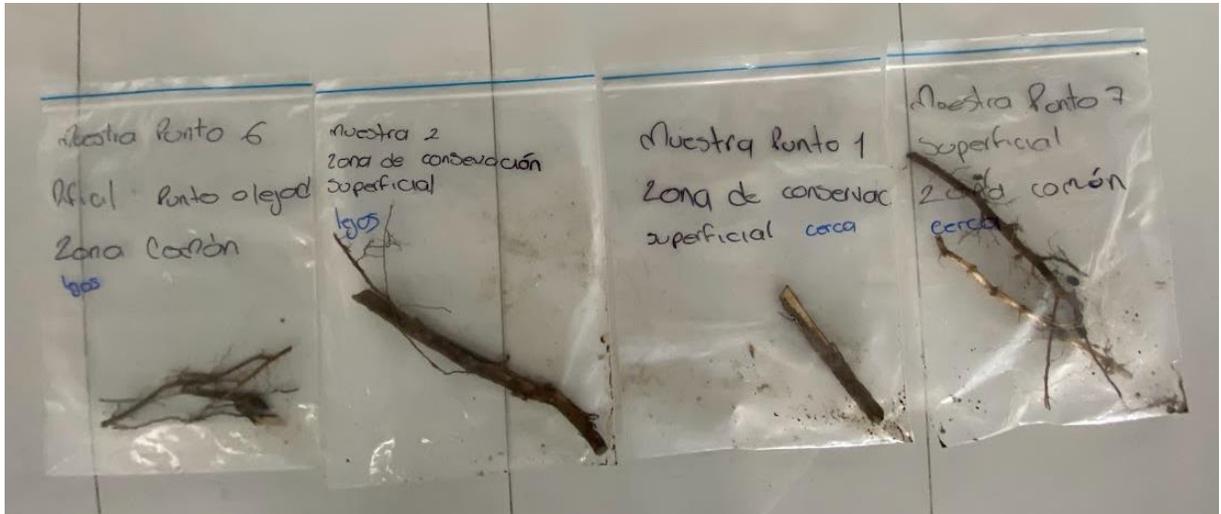
$$\%CM = \frac{\text{Número total de intersecciones con raíces micorrizadas}}{\text{Número total de intersecciones entre la raíz y las líneas de la cuadrícula}} \times 100$$

Comentarios: los datos obtenidos en el paso 3, también se pueden utilizar para determinar las longitudes tanto de la raíz completa como de la raíz micorrizada. Si toda la raíz se extiende en la caja de Petri, con las líneas de la cuadrícula separadas en 1.1 cm, el número total de raíces que interceptan las líneas de la cuadrícula, representan la longitud total de la raíz en cm. Por lo tanto, el total de la longitud de la raíz micorrizada será el número de intersecciones, con estructuras micorrízicas.

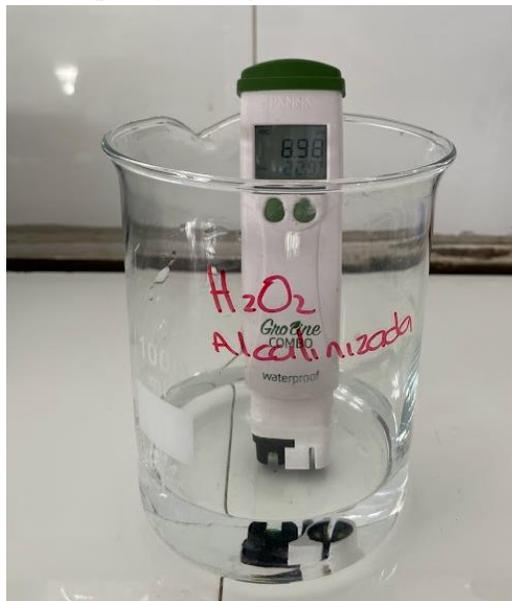
Si se toma una muestra pequeña de toda la raíz, se teñirá y se medirá en el microscopio con este método. Es posible calcular la longitud total de la raíz y la longitud de la raíz micorrizada de la planta completa, usando la relación entre el peso seco de la planta y la sub muestra.

ANEXO C. ELEMENTOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE LABORATORIO

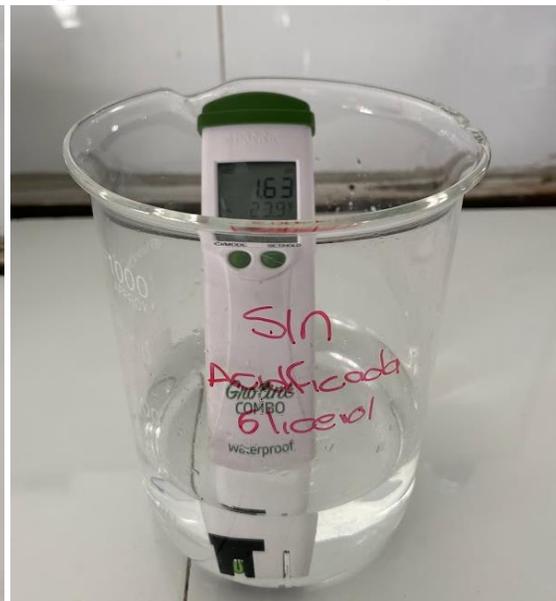
Muestras de raíz evaluadas en microscopio



pH agua Oxigenada alcalinizada



pH Solución acidificada de glicerol



Solución acidificada de glicerol con azul de tripano



lavado manual de raíces



Extracción de muestras para estudio físico químico y de densidad



ANEXO D. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS IGAC

(2016)

IGAC INSTITUTO GARCÍA RIVERA		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO GESTIÓN AGROLÓGICA			FECHA AAAA-MM-DD 2016-06-22
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		KAREN VIVIANA BARRERA AGUIRRE		TIPO DE MUESTRA	SUELO
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Bogotá D.C. - Bogotá, D.C.		No. SOLICITUD	1497_1
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/> DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE TRANSVERSAL 113C NO. 84-D 30	
Condición de la muestra		Explicación:			
APROBADA		N.A.			
Fecha de recepción de la muestra		Fecha de pago de la muestra		Fecha de ejecución de los análisis	
2-06-2016		2-06-2016		7-06-2016	
Método	Condiciones específicas o ambientales del	Inertidumbre estimada (Si aplica)	Límite de detección (Si aplica)	Límite de cuantificación (Si aplica)	
CIC (capacidad intercambio catiónico): Acetato de Amonio 1M pH 7 ±0.1 Volumétrico y BASES INTERCAMBIABLES (calcio, magnesio, potasio y sodio); cuantificación absorción-emisión atómica	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	1.0 cmol+/kg	1.2 cmol+/kg	2.04 cmol+/kg	
ELEMENTOS TOTALES (CALCIO, MAGNESIO, SODIO Y POTASIO); Emisión atómica	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A.	N.A.	N.A.	
Digestión en frío ácido fluorhídrico; cuantificación A.A.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	1.42 mg P/kg suelo	0.11 mg P/kg suelo	0.37 mg P/kg suelo	
POSFORO DISPONIBLE Bray II - Espectrofotométrico. Modificado por el IGAC y adaptado a los suelos colombianos.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	0.13 cmol+/kg	0.21 cmol+/kg	0.23 cmol+/kg	
ACIDEZ INTERCAMBIABLE (A.I.) aluminio de cambio: Cloruro de potasio 1M*	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	0.0056%	0.001%	0.004856%	
CARBONO ORGANICO: Suelos: Walkley-Black - Volumétrico* ó combustión en Analizador Elemental; en ácidos húmicos y fúlvicos: por separación de sustancias hidrosolubles a pH 2 y cuantificación de %C.O. por Walkley Black (% p/v)	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	1.3 %Ar	N.A.	N.A.	
TEXTURA DEL SUELO: Hidrómetro de Bouyoucos - Densimétrico. Método IGAC adaptado a los suelos colombianos*	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	0.5	N.A.	N.A.	
pH: Potenciométrico en relación suelo/agua 1:1*	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.				
CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)					
N.A.					
Cualquier inquietud puede comunicarse con:					
María del Pilar Triana Novoa Tel: 3994000 Ext: 91548					
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		DIANA FERNANDA VERA RAIGOSA			
		NOMBRE		Firma	

(2023)

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI											
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS											
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS											
pH (H ₂ O)	APRECIACIÓN	P mg Kg ⁻¹ (BRAY II)	K cmol (+) Kg ⁻¹	C.O (%)			N.Total (%)			CIC cmol (+) Kg ⁻¹	SATURACION DE BASES (SB) %
				CLIMA			CLIMA				
				FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO		
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.26 - 0.50	0.16 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50
4.6 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIONES					CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I)	APRECIACIÓN	
5.1 - 5.5	APRECIACIÓN	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K						
FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ds m ⁻¹	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)	CLASE	<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES	
5.6 - 6.0											
MEDIANAMENTE ÁCIDO	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	0 - 2	INFERIOR	NORMAL	15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES	
6.1 - 6.5					2 - 4	LIMITE					
LIGERAMENTE ACIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			4 - 8		A			S1
6.6 - 7.3						8 - 16	15%	S2	30 A 60	LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES	
NEUTRO	CONTENIDO ÓPTIMO	ELEMENTOS MENORES* (mg Kg ⁻¹)				>16	SUPERIOR	Na			
7.4 - 7.8		Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4		NaS1			
LIGERAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8		A	NaS2		
7.9 - 8.4						8 - 16	15%	NaS3	>60	NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS	
MEDIANAMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16					
8.5 - 9.0											
FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal.						ÁREA DE QUÍMICA				
>9.0	Boro en suelos (extractable en agua caliente): 0.6 - 1.0 mg Kg ⁻¹ .										
EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg ⁻¹ .										

NC(Nivel Crítico): 25 mg Kg⁻¹ NO₃; 20 mg Kg⁻¹ NH₄; 20 mg Kg⁻¹ S disponible (Fosfato de calcio)

CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):

N (%): 2.5-4.5; P (%): 0.20-0.75; K (%): 1.5-5.5; Ca (%): 1.0-4.0; Mg (%): 0.25-1.0; S (%): 0.25-1.0

B (mg Kg⁻¹): 10-200; Cu (mg Kg⁻¹): 5-30; Fe (mg Kg⁻¹): 100-500; Mn (mg Kg⁻¹): 20-300; Zn (mg Kg⁻¹): 27-100; Mo (mg Kg⁻¹): 0.10-0.20; Cl (mg Kg⁻¹): 100-500

ANEXO E. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE DENSIDADES

DENSIDAD APARENTE (*método del cilindro*)

1. Desembalar cuidadosamente la muestra sin disturbar del suelo tomada en campo evitando perdidas.
2. Pese un vaso precipitado en la balanza gramera y registre el valor en la planilla de toma de datos.
3. Con ayuda de la espátula se transvasa todo el contenido del suelo que tiene el cilindro al vaso precipitado evitando perdidas.
4. Pese el vaso precipitado con el suelo y registre el valor en la planilla de toma de datos.
5. Llevar la muestra del suelo al horno a 105 °C por 24 horas hasta obtener peso constante.
6. Una vez desocupado el cilindro, lavarlo muy bien y pesar el cilindro vacío; medir la longitud y el diámetro del tubo y registre el valor en la planilla de toma de datos.
7. Trascorridas las 24 horas sacar la muestra del horno, se lleva en un desecador hasta llegar a temperatura ambiente, pesar en la balanza gramera y registre el valor en la planilla de toma de datos.

- **Cálculo de la densidad aparente del suelo en húmedo:**

$$\rho_{ah} = \frac{M_h}{V_T}$$

Donde:

- ρ_{ah} = densidad aparente en húmedo (g/cm³)
- M_h = peso del suelo húmedo (g)
- V_T = volumen total del cilindro = $\pi r^2 l$ (cm³)
- M_h = peso del vaso precipitado con suelo húmedo (g) – peso del vaso precipitado vacío (g)

- **Cálculo de la densidad aparente del suelo en seco:**

$$\rho_{as} = \frac{M_s}{V_T}$$

Donde:

- ρ_{as} = densidad aparente en seco (g/cm³)
- M_s = peso del suelo seco a 105 °C x 24 h (g)
- V_T = volumen total del cilindro = $\pi r l$ (cm³)
- M_s = peso del vaso precipitado con suelo seco (g) – peso del vaso precipitado vacío (g)

DENSIDAD REAL (*método del picnómetro*)

1. Pese un picnómetro limpio y seco con tapa en la balanza analítica y registre el valor en la planilla de toma de datos.
2. Introduzca más o menos 2 g de suelo secado al aire usando el embudo de 35 mm.
3. Pese el picnómetro con el suelo y la tapa y registre el valor en la planilla de toma de datos.
4. Adicione agua destilada al picnómetro hasta la mitad de su volumen.
5. Destape el picnómetro para remueva el aire calentando suavemente hasta ebullición o baja laampa de vidrio y aplicar vacío por dos horas para remover las burbujas de aire de la mezcla.
6. Enfríe el picnómetro y su contenido y agregar agua destilada hasta llenar el picnómetro, de nuevo remueva el aire calentando suavemente hasta ebullición o baja laampa de vidrio y aplicar vacío por una hora.
7. Coloque la tapa en el picnómetro, pese de nuevo y registre el valor en la planilla de toma de datos.
8. Remover todo el contenido del suelo del picnómetro, lavarlo y secarlo completamente.
9. Llenar completamente el picnómetro con agua destilada, seque la parte exterior, pesar y registre el valor en la planilla de toma de datos.
10. Mida la temperatura del agua y registre el valor en la planilla de toma de datos.

○ **Cálculo de la densidad real del suelo**

$$\rho_r = \frac{\rho_w(W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)}$$

Donde:

- ρ_r = densidad real (g/cm³)
- ρ_w = densidad del agua a la temperatura observada (g/cm³)
- W_s = peso del picnómetro más el suelo (g)
- W_a = peso del picnómetro vacío (g)
- W_{sw} = peso del picnómetro más suelo más agua (g)
- W_w = peso del picnómetro más agua (g)

FACTORES PARA LA CORRECCIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGUA	
TEMPERATURA °C	DENSIDAD DEL AGUA g/cm ³
18	0,99897
20	0,99862
22	0,99823
24	0,99780
26	0,99732
28	0,99681

ANEXO F. REGISTRO FOTOGRÁFICO CALLISTEMON CITRINUS





ANEXO G. GLOSARIO

Angiosperma: Grupo extenso de plantas que producen frutos con semillas y tienen flor; pueden ser árboles, arbustos o hierbas. Se adaptan casi a todos los ecosistemas excepto en donde las temperaturas son demasiado bajas (regiones polares).

Antrópico: Actividad realizada por el hombre.

Ápice vegetativo: Tejido terminal del tronco raíces y ramas.

Apoplasto: espacio extracelular por medio del cual fluyen agua y otras sustancias hacia los tejidos vegetales.

Arbúsculo: Estructura más característica de una endomicorriza. Tiene una apariencia parecida a la de un árbol y forma el hongo micorrízico cuando entra en la célula de la raíz de la planta que coloniza.

Autodepuración: Capacidad que tiene el agua para eliminar componentes químicos que no hacen parte de su estructura natural.

Biotropismo: Activación patogénica de un microorganismo que estaba en estado de latencia.

Capa freática: Nivel de agua que está más cerca de la superficie (suelo).

Características edáficas: Todas las características referentes al suelo y a la vida en él.

Clamidospora: es un tipo de espora asexual la cual posee una gruesa pared celular hifal que ha sido segregada del micelio parental. Comúnmente confiere resistencia a condiciones ambientales extremas.

Coriácea: Hoja con aspecto duro y espeso. Al tacto es similar al cuero.

Córtex radical: Región comprendida entre la parte más interna de la raíz (Cilindro vascular) y la epidermis de la misma (rizodermis) donde puede almacenar sustancias de reserva.

Endémico: Fauna, flora o condiciones ambientales, que se dan naturalmente en un solo lugar limitado de manera geográfica.

Endospermo: Tejido presente en las semillas de la mayoría de las plantas que rodea al embrión y donde permite el almacenamiento de nutrientes durante la germinación y primeras etapas de vida.

Espora: Forma en la que los hongos se reproducen, son una forma de resistencia o supervivencia. Son capaces de germinar, pero al hacerlo solas son muy lentas y por esta razón demoran en colonizar alguna otra planta.

Estípula: Estructura que se encuentra a los lados de la base de la planta y que conecta con las hojas.

Exudado: Cualquier sustancia (líquida o densa) secretada por la planta.

Fotosintatos: Cualquier producto químico resultante del proceso de la fotosíntesis.

Gimnosperma: Grupo de plantas vasculares que se caracterizan por tener flor, pero no fruto. Son árboles o arbustos únicamente. En ocasiones generan falsos frutos, pero sólo con el fin de proteger las semillas.

Hepáticas: Grupo de herbáceas pequeñas perennes de menor tamaño que los musgos. Su nombre se debe a que la forma del gametófito de algunas especies se parece a la de un hígado.

Hifa: Forma en la que crecen normalmente los hongos. Se asemejan a un “hilo”, el cual en el caso de los hongos de la tierra como lo son los de las micorrizas, se extienden y propagan hasta llegar a la raíz de la planta que van a colonizar.

Hoja perenne: Son aquellas que no caen, permanecen en el árbol a lo largo de las estaciones, por lo general duran más de dos años.

Inflorescencia cimosa: Se da cuando el tallo principal de la planta crece hasta cierto punto y después de esto las demás ramificaciones crecen de la misma manera lateralmente.

Inflorescencia racimosa: Se da cuando el tallo principal de la planta no deja de crecer y las demás ramificaciones a partir de esa, florecen de abajo hacia arriba.

Inflorescencia: Todo sistema de ramificaciones que termina o remata en flor.

Invaginación: repliegue de membranas hacia el interior de las mismas.

Lanceoladoacuminada: Hoja con punta y forma de lanza.

Material parental: Roca inicial de la cual procede el suelo, según el tipo de roca inicial o madre el suelo adquiere unas características específicas.

Micelio: Son todas las hifas que produce un hongo formando un conjunto; en las micorrizas se pueden evidenciar el micelio; que se extiende dentro de la raíz de la planta (intrarradical) y el que se extiende por el suelo (extrarradical).

Micorriza: Asociación entre la mayoría de las plantas con un grupo de hongos microscópicos del suelo que resulta en grandes beneficios para ambos.

Micorrizósfera: Zona del suelo directamente afectada por la asociación micorrízica, en donde la comunidad microbiana es diferente por la influencia de la asociación.

Microsimbionte: Microorganismo que vive en simbiosis con otra especie.

Perennifolio: Arbusto que posee sus hojas vivas durante todo un año.

Perígina: Flor de ovario medio o semiínfero, es decir; que se encuentra rodeado a la mitad por el cáliz y las demás partes de la flor.

Plantas briofitas: Plantas del Paleozoico que con ayuda de micorrizas lograron colonizar el medio terrestre. Se adaptan a ecosistemas húmedos o acuáticos, su reproducción se da por esporas. Plantas no vasculares.

Punteadura diáfana: Punta de la hoja casi transparente.

RDH: Reserva Distrital de Humedal.

Relación interespecífica: Es la interacción que tienen dos o más individuos de diferentes especies dentro de un ecosistema; pueden ser beneficiosas o pueden ser perjudiciales, un ejemplo es la depredación en donde un individuo se beneficia y el otro sale perjudicado.

Relación intraespecífica: Es la interacción que tienen dos o más individuos de la misma especie dentro de una población; generalmente se da cuando se compite por la supervivencia o cuando la población ya es muy grande y los recursos empiezan a escasear.

Rizósfera: Zona del suelo cuya actividad biológica se ve directamente influenciada por las raíces de la planta.

Saprófito: Organismo que se alimenta a partir de la materia orgánica de otros organismos, muertos o en descomposición.

Sépalo: Los sépalos son los que envuelven a las otras piezas florales en las primeras fases de desarrollo, cuando la flor es sólo un capullo o pimpollo.

Simbiosis: Convivencia entre dos organismos que resulta beneficiosa y pacífica, por ejemplo, las micorrizas son simbiosis entre un hongo del suelo y las raíces de las plantas.

Suelo franco: Suelo con concentración idónea y equilibrada de arcilla limo y arena.

Ubicuo: Grupo de microorganismos que está presente casi en todas partes.