

Estudio histológico comparativo de las partes vegetativas de los mangles *Hilairanthus germinans* (Acanthaceae), *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* (Combretaceae), *Rhizophora mangle* y *R. racemosa* (Rhizophoraceae)

A comparative histological study of the vegetative parts of mangroves *Hilairanthus germinans* (Acanthaceae), *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* (Combretaceae), *Rhizophora mangle* and *R. racemosa* (Rhizophoraceae)

Natalia Zapata^{1*} & Mónica Armas²

¹Consultor independiente

²Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s.n. y Av. Juan Tanca Marengo (Campus Mapasingue), P.O. Box 09-01-10634, Guayaquil-Ecuador

Recibido 10 de abril 2021; recibido en forma revisada 2 de mayo 2021, aceptado 4 de junio 2021
Disponible en línea 26 de junio 2021

Resumen

Los manglares son ecosistemas complejos que se desarrollan en ambientes inundados, hipóxicos, salinos y de suelos poco consolidados, su vegetación dominante comúnmente denominada mangles ha desarrollado características morfológicas y fisiológicas que les permiten subsistir en esos ecosistemas. El presente trabajo se basó en la caracterización de los tejidos vegetativos de los mangles *Hilairanthus germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*, *Rhizophora mangle* y *R. racemosa*, describiendo sus diferencias histológicas. Para esto se colectaron hojas, las cuales fueron transportadas y mantenidas en frío hasta su procesamiento. Los cortes se realizaron manualmente, se utilizó FAA (formol, ácido acético y alcohol), azul de metileno y glicerina líquida para su fijación y montaje. Posteriormente, se observaron los cortes en microscopio óptico de luz y se midieron los tejidos con reglillas micrométricas. Todas las especies analizadas evidenciaron una cutícula gruesa, abundante tejido esponjoso y vasos de conducción. *H. germinans* presentó una gran cantidad de tricomas piriformes tanto en hojas como pecíolos. En las raíces se observó gran cantidad de aerénquima exceptuando por *Rhizophora*, en este género abundó el tejido esclerenquimático.

Palabras claves: Histología vegetal, mangle, aerénquima, neumatóforos.

Abstract

Mangroves are complex ecosystems that occur in flooded, hypoxic, and saline environments with poorly consolidated soils, the dominant vegetation commonly known as mangroves have developed morphological and physiological characteristics that allow them to survive in those ecosystems. The present work was based on the characterization of vegetative tissues of mangrove trees as *Hilairanthus germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*, *Rhizophora mangle* and *R. racemosa*, describing their histological differences. For this purpose, leaves were collected, transported, and kept cold until processing. The cuts were made manually, FAA (formol, acetic acid and alcohol), methylene blue, and liquid glycerin were used for fixation and assembly. Posteriorly, those were observed in optical light microscopes, the tissues were measured with micrometric strips. All species analyzed showed a thick cuticle and abundant spongy tissue, and vessels. *H. germinans* presented a large amount of pyriform trichomes both in leaves and petioles. A great quantity of aerenchyma was observed in roots except for *Rhizophora*, in the latter genus the sclerenchymatous tissue was abundant.

Keywords: aerenchyma, mangrove, plant histology, pneumatophores.

* Correspondencia del autor:
E-mail: zapatanataliaa@gmail.com - monica.armass@ug.edu.ec



Introducción

Los bosques de mangles son ecosistemas complejos distribuidos en los trópicos, principalmente en las desembocaduras de ríos en el mar (Srikanth et al., 2015). Las comunidades humanas cercanas se ven directamente beneficiadas con éstos debido a que son hogar de fauna marina importante en seguridad alimentaria (peces, moluscos, crustáceos), su madera es muy apreciada en construcción de casas, muebles, herramientas, barcos, la corteza posee taninos de interés comercial y las ramas se utilizan en la producción de carbón (Cornejo, 2014). A pesar de lo expuesto, su valor ecológico no ha sido debidamente reconocido en Ecuador, a finales de 1970, en Ecuador fueron considerados áreas improductivas; cerca del 30% de la cobertura vegetal se perdió a causa de la deforestación (López Rodríguez, 2018).

Los manglares se desarrollan en suelos poco consolidados, altamente salobres, poco oxigenados y total o parcialmente inundados, por lo que los mangles, la vegetación dominante en estos ecosistemas han desarrollado características morfológicas y fisiológicas específicas que les permiten subsistir (Cornejo, 2019). Si bien estas plantas pueden sobrevivir en agua dulce, no pueden completar todos sus ciclos en ella, dependen de las sales para su correcto desarrollo y crecimiento (Wang et al., 2011). Para tolerar los altos niveles de salinidad, las especies de mangles han desarrollado mecanismos de exclusión salina por medio de las raíces o excreción por las hojas. Poseen características anatómicas que les permiten tener altas tasas fotosintéticas (Primavera et al., 2018), por ejemplo, las hojas suelen estar dispuestas generalmente de forma decusada, esto reduce el auto-sombreado y a su vez permite que las ramas internas puedan recibir luz y realizar fotosíntesis de manera eficiente.

Existen al menos seis tipos de estomas conocidos en las hojas de mangle, estos varían mayormente por la disposición de células; en algunas especies se puede encontrar un abultamiento en forma de cuerno que cubre el lado externo de los estomas, el objetivo es reducir la respiración estomática, lo cual es de suma importancia dada la alta concentración de solutos en el agua y la "sequía fisiológica" que experimentan estos árboles (West, 1956). Probablemente las raíces sean el rasgo más característico de estas plantas, con su extraña apariencia producto de las adaptaciones para poder sobrevivir en tan peculiares ambientes. Existen diferentes tipos de raíces, entre ellas las más comunes son las raíces de apoyo (como zancos) aéreas, contrafuertes y neumatóforos (Naskar & Palit, 2014). Estas últimas son un tipo de raíz con geotropismo negativo, surgen con la finalidad de captar y transferir oxígeno a toda la planta, la cual se encuentra postrada mayormente en sustratos inundados (Díaz Gaxiola, 2011; Kathiresan & Bingham, 2001), no suelen medir más de 30 centímetros de altura, tienen una superficie lisa, su color puede variar de gris a verde (Lonard et al., 2017), e incluso proporcionan un sustrato apto para el

desarrollo de otros organismos, principalmente algas (Burneo & Romero, 2016; Hogarth, 2013). Estas raíces se encuentran en al menos seis géneros de mangle *Laguncularia* (Combretaceae), *Hilairanthus*, *Avicennia* (Acanthaceae), *Bruquiera* (Rhizophoraceae), *Xylocarpus* (Meliaceae), y *Sonneratia* (Sonneratiaceae) (Tomlinson, 1986). Algunas especies de mangle poseen una gran cantidad de aerénquima en las raíces para el intercambio de oxígeno, los neumatóforos suelen tardar un par de años en desarrollarse y durante ese tiempo, la única forma de satisfacer la demanda de oxígeno atmosférico de las raíces es mediante órganos aéreos, incluso pueden existir períodos de tiempo en el que los tallos y hojas queden privados de oxígeno (Ashford & Allaway, 1995). En general, los tejidos vegetales (principalmente de raíces) han sido muy estudiados en plantas que están sometidas algún tipo de estrés o son de importancia comercial, por lo que esta investigación propone caracterizar los tejidos epidérmico, fundamental y de conducción de las partes críticas para la respiración (hojas, peciolo, raíces y 3 neumatóforos) de cinco especies de mangles: *Hilairanthus germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*, *Rhizophora mangle* y *R. racemosa*.

El correcto funcionamiento de los mangles en sustratos poco oxigenados se debe a que generan enormes cantidades de aerénquima, solo de esta forma pueden cubrir su altísima tasa de respiración. Cuando el aire es absorbido de la atmósfera, dentro de las hojas se produce una presurización higrométrica, esto hace que se mueva dentro del aerénquima hacia peciolo, tallos y raíces (Evans et al., 2009). Algunas especies de mangle incluso han desarrollado neumatóforos, éstos se encuentran cubiertos de lenticelas que favorecen la aeración del sistema radicular (Ashford & Allaway, 1995). El aerénquima es un tipo de tejido vegetal que permite la difusión rápida y eficiente de oxígeno, debido a que posee enormes espacios aéreos. Se desarrolla principalmente en raíces y brotes de especies que están sometidas a estrés hipóxico; sin embargo, también puede presentarse en plantas de suelos secos con bajos niveles de nutrientes y altas temperaturas (D. E. Evans, 2003), como muchas herbáceas (MckEE & Mendelssohn, 1987). Existen dos tipos de aerénquima, aquel que se origina mayormente en los tejidos primarios de la corteza de la raíz es denominado aerénquima primario, éste a su vez se divide de acuerdo con cómo se forma, es esquizógeno cuando se origina a partir de las células que se separan en la formación de tejidos, y lisígeno cuando se forma a partir de la desintegración de las células muertas; finalmente el aerénquima secundario se origina de los tejidos secundarios (Sou et al., 2019). Para poder desenvolverse en ambientes con altas salinidades, muchas especies de mangle almacenan agua dulce en sus gruesas hojas; la respiración de éstas se ve limitada generalmente con una capa cerosa, de esta forma retienen el agua por una mayor cantidad de tiempo. Además, las hojas poseen glándulas secretoras de sal, y al igual que las cortezas viejas, la almacenan hasta que sea tiempo

de que caigan (Hamilton, 2020). Los mangles también desarrollan características esclerofilicas, según Lima et al. (2013) la presencia de varias capas de tejido parenquimatoso (empalizada y epidérmico) es una respuesta a los factores estresantes a los que están sometidos. El control de la apertura estomática también es un factor muy importante en la contención de agua dulce y la correcta respiración de la planta; Quevedo et al. (2018) analizaron dos lugares de Guayaquil con distintos niveles de contaminación, registraron densidades estomáticas similares en ambos puntos; sin embargo, la apertura estomática fue mayor en el lugar menos contaminado, esto debido a que las hojas no estaban tan cubiertas de polvo, lo que permite que la oclusión estomática sea menor. Dentro del trabajo realizado por Gonzalez Sánchez (2013) se encuentran *R. mangle* y *H. germinans* clasificadas como hipoestomáticas, *L. racemosa* como anfiestomática; además, *R. mangle* presentó estomas del tipo paracítico y *L. racemosa* y *H. germinans* del tipo anomocítico, explicando que las diferencias estomáticas tienen ligeros cambios con respecto a las épocas de sequía y lluviosa. En cuanto a las raíces, Purnobasuki & Suzuki (2004) analizaron las del mangle *Sonneratia alba*, las muestras fueron de varios tipos de raíces durante diversos estadios de maduración; los investigadores observaron cambios en la forma y tamaño de algunas células corticales. También establecieron que, la formación del aerénquima ocurre de forma esquizógena, las células se separan y adoptan dos formas distintas, redondeadas o acorazadas. La ausencia de neumatóforos en *Rhizophora* y el que sus raíces se encuentren permanentemente sumergidas en ambientes hipóxicos o anóxicos, genera una total dependencia de las raíces aéreas, éstas son las deben

encargarse del abastecimiento de oxígeno a las raíces subterráneas. Mientras en *L. racemosa*, estudios demostraron que las raíces de subterráneas son muy eficientes para el transporte de agua, a través de los vasos secundarios del xilema (Yáñez Espinosa & Flores, 2011). En el trabajo realizado en *A. marina* por Ishshalom-gordon & Dubinsky (1992), se muestran que los distintos tejidos (felema, felógeno, felodermis, parénquima, aerénquima, xilema, floema y médula) que conforman los neumatóforos son similares a los que se encuentran en las raíces enterradas, la única diferencia fue que las raíces no presentan lenticelas. Incluso sugieren que, debido a la estructura interna de los neumatóforos, la planta posee gran cantidad de éstos ya que solo son capaces de proporcionar una pequeña porción de oxígeno a las raíces asociadas directamente a ellos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El material vegetal de las especies estudiadas se recolectó entre enero y febrero (época húmeda), en un recorrido de aproximadamente un kilómetro, en el Parque Lineal del Estero Salado de Guayaquil, este se extiende desde el puente 5 de junio hasta la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (Fig. 1).

Trabajo de campo

Durante un recorrido previo a la obtención de muestras, se observaron las distintas especies de mangle y se identificaron con los trabajos taxonómicos de Cornejo, (2014) y Gómez et al. (2010). Morfológicamente, todas las especies difieren con varias características, sin

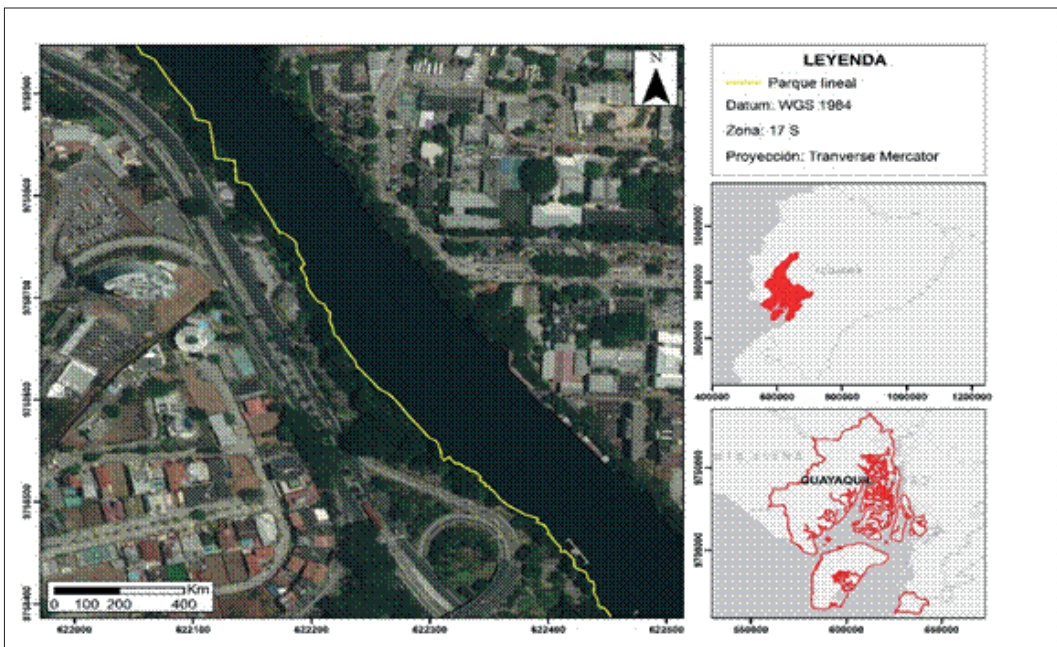


Figura 1. Parque Lineal, Estero Salado - Guayaquil

embargo, *R. mangle* y *R. racemosa* son muy similares, por lo que su identificación se basó en sus flores (Anexo 1). Se realizó una recolección aleatoria de hojas, peciolo, raíces y neumatóforos en individuos dirigidos. Para la toma de raíces y neumatóforos se revisaron las tablas de mareas proporcionadas por el Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador (INOCAR), con el fin de entrar en bajamar; para la extracción de raíces fue necesario cavar el sustrato, mientras que los neumatóforos fueron cortados directamente al ras del suelo, en ambos casos se utilizaron tijeras de jardinería de podar. Todas las muestras se preservaron en frío, en una Termo Hielera para vacunas portátil, hasta ser transportadas al laboratorio para ser trabajadas.

Trabajo de laboratorio

Se tomó como referencia la metodología utilizada por Lucena et al. (2011) y se realizaron ciertas modificaciones de acuerdo con la disponibilidad de recursos. Las hojas y peciolo se lavaron para retirar acumulaciones de polvo, se cortaron manualmente y se fijaron en FAA (formol, ácido acético y alcohol) durante algunos minutos. Se procedió a teñir las muestras con azul de metileno, el exceso fue enjuagado con agua destilada y finalmente se montaron las placas con unas gotas de glicerina líquida para mejorar el índice de refracción. Las observaciones se realizaron en objetivos de 10X y 40X en un microscopio Motic BA210E y para las mediciones se utilizó un microscopio Leica DM750 en el cual se colocó una regilla micrométrica dentro de un ocular con objetivos de 4X y 10X.

Los neumatóforos se lavaron y cortaron a mano alzada, éstos se sumergieron en FAA durante un período aproximado de 10 minutos y luego se tiñeron con azul de metileno. Las raíces se lavaron muy bien y se hirvieron por 30 minutos en una solución de agua y detergente, después fueron sumergidas en glicerina líquida por un par de horas, posteriormente se cortaron de forma manual y reposaron en FAA por varios minutos, finalmente se tiñeron con azul de metileno y se retiró el exceso con agua destilada para ser observadas en los microscopios.

Análisis de datos y estadísticos

Los datos obtenidos de los tejidos parenquimatosos

y los vasos conductores (xilema y floema) se organizaron en una matriz de Microsoft Excel y se realizaron análisis de varianza (ANOVA) con un índice de confiabilidad del 95% para establecer si existen diferencias significativas entre los tejidos de cada parte vegetativa analizada.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados del estudio histológico de cinco especies de mangles:

Descripción de las diferencias histológicas en hojas, peciolo, raíces y neumatóforos de *H. germinans*, *L. racemosa*, *C. erectus*, *R. mangle* y *R. racemosa*.

Hojas

Las muestras analizadas de *L. racemosa* evidenciaron un tipo de hoja isolaral debido a que el parénquima de empalizada se encontró en ambas caras del esponjoso, (Fig. 2A). Se observó gran cantidad de cristales en forma de drusas y macro escleréidas, el tejido de empalizada presentó abundantes cloroplastos. Vasos de conducción en espiral también fueron visibles sobre el parénquima esponjoso y de empalizada; finalmente, las cavidades estomáticas estaban presentes tanto en el haz como en el envés de las hojas, por lo que se describe como anfiestomática. En el mesófilo de *H. germinans* se encontraron abundantes macroscleréidas y braquiescleréidas, éstas fueron observadas sobre el tejido clorénquimático, el cual constituía casi toda la hoja (Fig. 2B). Sin embargo, por la ubicación de la pequeña porción de parénquima de empalizada, se describiría como una hoja dorsiventral. Al ser una especie pubescente, tanto en el haz como envés se evidenciaron tricomas, en este caso piriformes de tipo glandular, el envés fue la cara que presentó mayor abundancia de éstos. En cuanto a estomas, se pudieron visualizar en el haz de las hojas, por lo que entran en la clasificación epiestomática.

Conocarpus erectus presenta hojas con características anfiestomáticas y tricomas filamentosos, según la distribución anatómica de sus tejidos son de tipo isolaral. Se observaron dos filas de parénquima de empalizada con gran cantidad de cloroplastos (Fig. 2C), el parénquima esponjoso contenía abundantes vasos de conducción en espiral.

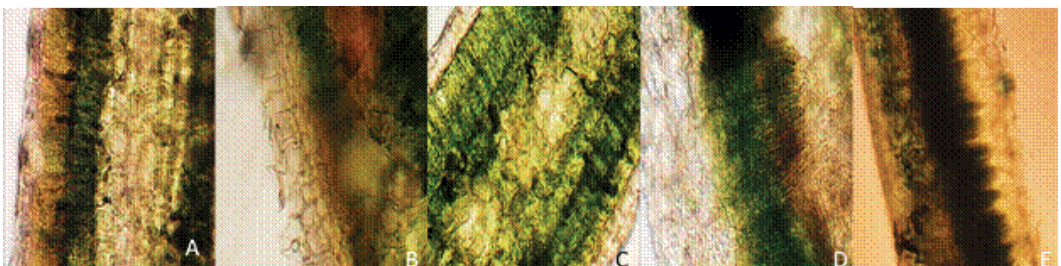


Figura 2. Cortes transversales en hojas de A) *L. racemosa*, B) *H. germinans*, C) *C. erectus*, D) *R. mangle* y E) *R. racemosa*.

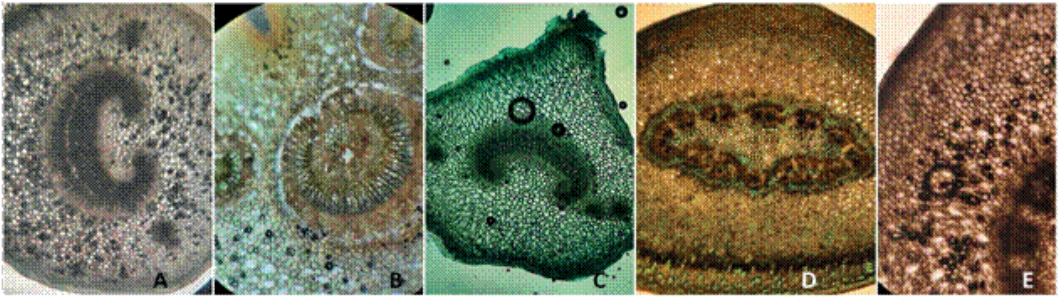


Figura 3. Cortes transversales en peciolos de A) *L. racemosa* 10X, B) *H. germinans* 40X, C) *C. erectus* 10X, D) *R. racemosa* 10X y E) *R. mangle* 40X.

Finalmente, las hojas de *R. mangle* y *R. racemosa* fueron muy similares (Fig. 2D, 2E), ambas especies poseen hojas distintivamente más gruesas que cualquier otra de las analizadas, esto probablemente por la gruesa cutícula y a la gran cantidad de parénquima esponjoso que poseen, éste último se encuentra en ambas caras de la hoja, dejando a un parénquima de empalizada lleno de cloroplastos en la mitad del mesófilo. Las cavidades estomáticas fueron abundantes exclusivamente en el envés de la hoja, por lo que se identifican como hipostomáticas.

Peciolos

En *L. racemosa* los peciolos presentan dos filas de células epidérmicas, gran cantidad de parénquima esponjoso con sustancias de reserva, canales de conducción en forma de C (Fig. 3A), abundantes drusas, esclereidas y tricomas.

En los peciolos de *H. germinans* se observó la cutícula con tricomas piriformes, seguida de una delgada epidermis, una pequeña franja de parénquima esponjoso con cloroplastos, arena cristalina y drusas. Posteriormente, gran cantidad de aerénquima que poseía drusas y macrosclereidas, los haces vasculares se encontraban en forma de tres círculos, uno grande y dos pequeños a los lados (Fig. 3B), en éstos se observaron braquiesclereidas y en el centro poseían parénquima esponjoso.

Por su parte, *C. erectus* presentó una epidermis por unas pocas filas de células, se observaron unos pocos tricomas filamentosos unicelulares, además se constató la presencia de esclereidas y drusas

sobre abundante parénquima de relleno, los haces vasculares presentaron forma de C (Fig. 3C).

Los peciolos de *R. racemosa* (Fig. 3D) y *R. mangle* (Fig. 3E) no evidenciaron tricomas, la cutícula delgada daba paso a una epidermis compuesta por tres filas de células, luego una capa de parénquima esponjoso con cloroplastos, y posteriormente tejido aerénquimatoso con drusas, macrosclereidas, braquiesclereidas y astroesclereidas. Los vasos de conducción también presentaron esclereidas y en su interior se observó más aerénquima.

Raíces

La anatomía de las raíces de *L. racemosa* consta de la cutícula, una epidermis delgada, súber engrosado, córtex con esclereidas, conductos del floema, cambium y una gran cantidad de anillos medulares (evidenciando la lignificación) con vasos xilemáticos (Fig. 4A), finalmente en el centro se pudo observar parénquima medular. En las raíces analizadas se pudo observar la relación simbiótica que poseen con microalgas clorófitas.

En *H. germinans* se observó tejido aerénquimático en grandes cantidades con esclereidas, un par de anillos de cambium y radios medulares eran muy conspicuos (Fig. 4B). Los conductos del xilema y del floema se encontraban dispersos entre dichos radios. En el súber se pudo presenciar la simbiosis con microalgas.

Conocarpus erectus presentó un súber delgado con microalgas adheridas, epidermis delgada y abundante parénquima cortical; el cilindro vascular es de gran tamaño e inicia con abundante floema,

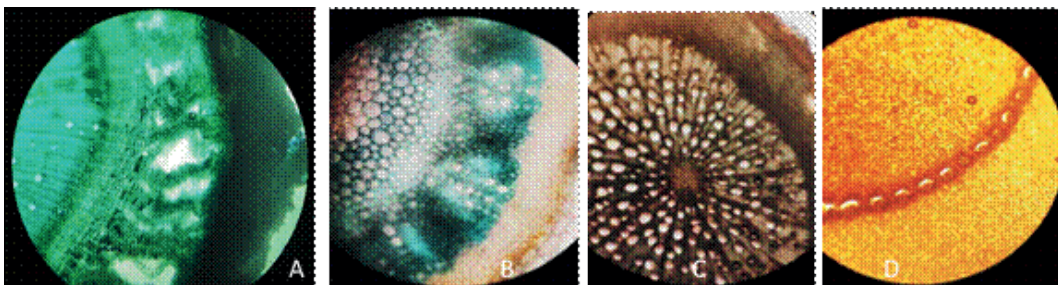


Figura 4. Córtex y cambium de A) *L. racemosa*, B) *H. germinans*, C) *C. erectus* y D) tejido esclerenquimático y anillo vascular de *R. racemosa*, *R. mangle* presentó exactamente la misma anatomía interna.

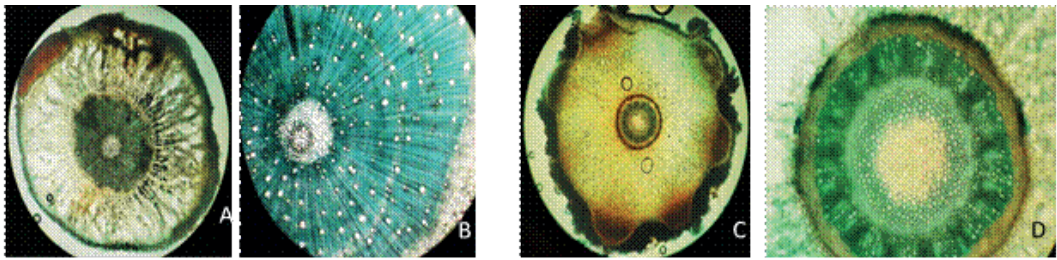


Figura 5. Cortes transversales a neumatóforos. A) *L. racemosa* 10X, B) *L. racemosa* 40X, C) *H. germinans* 10X y D) *H. germinans* 40X. En A y C se pueden observar lenticelas.

posteriormente el cambium se encuentra bien diferenciado y da lugar a una gran cantidad de xilema con radios medulares muy notorios (Fig. 4C), sobre éstos se pudieron observar macroesclereidas y drusas. En algunos casos se observó parénquima medular en el centro del cilindro vascular.

En el análisis de las raíces aéreas de *R. mangle* y *R. racemosa* se pudo observar que poseen anatomía similar. Posterior a la delgada epidermis se observó una pequeña porción de tejido parenquimatoso, seguido de abundante esclerenquima. El cilindro vascular se presenta con un patrón discontinuo, los haces vasculares dispuestos de tal manera que forman una eustela, se evidenció la presencia de parénquima interfascicular entre los vasos de conducción, mientras que el interior del anillo se encontró más tejido esclerenquimático (Fig. 4D).

Neumatóforos

Sólo dos especies analizadas han desarrollado neumatóforos, en *L. racemosa* se encontró una epidermis pluriestratificada y abundante aerénquima (Fig. 5A), en éste se evidenció la presencia de drusas, macroesclereidas y braquiesclereidas. El cilindro vascular se caracterizó por presentar forma de actinostela, posterior al floema bien diferenciado se observan los radios medulares con los conductos xilemáticos (Fig. 5B), finalmente en el centro del cilindro se registró más aerénquima.

Finalmente, los neumatóforos de *H. germinans* también presentaron epidermis pluriestratificada,

seguida una pequeña franja de tejido clorenquimatoso, posteriormente se evidenció abundante aerénquima hasta el anillo vascular (Fig. 5C), este presenta un patrón de sifonostela anfilloica, los conductos del xilema se observan desordenados sobre los radios medulares (Fig. 5D), los cuales no son tan largos como en *L. racemosa*, finalmente en la médula se observó aerénquima.

Comparación de las estructuras anatómicas entre hojas, peciolo, raíces y neumatóforos de *H. germinans*, *L. racemosa*, *C. erectus*, *R. mangle* y *R. racemosa*.

Análisis estadísticos

Se analizaron estadísticamente los radios de los tejidos parenquimatosos, el diámetro de los vasos conductores de los peciolo, raíces y neumatóforos, y el grosor de las hojas, todos éstos medidos con una reglilla micrométrica en un microscopio óptico Leica DM750 con objetivo 4X. Se realizaron análisis de varianza ANOVA con un nivel de confianza del 95%, en caso de presentar diferencias significativas se realizó la prueba estadística Tuckey.

Hojas

En cuanto al grosor de las hojas, *H. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus* no presentan diferencias significativas, sin embargo, sí son estadísticamente distintas a las hojas de *R. mangle* y *R. racemosa*, éstas últimas presentan un mayor grosor.

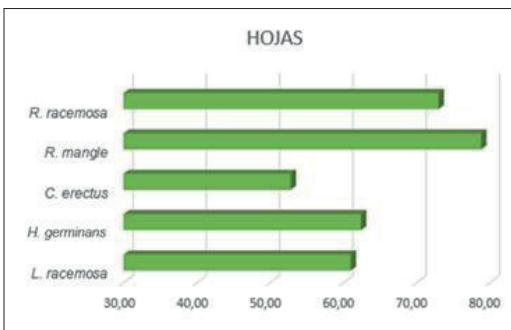


Figura 6. Grosor de las hojas (10X) de cinco especies de mangles.

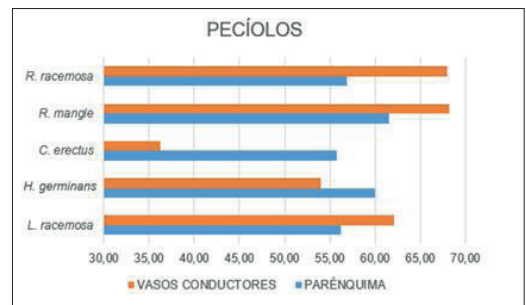


Figura 7. Diámetros de los vasos conductores y radios del tejido parenquimatoso de cinco especies de mangles.

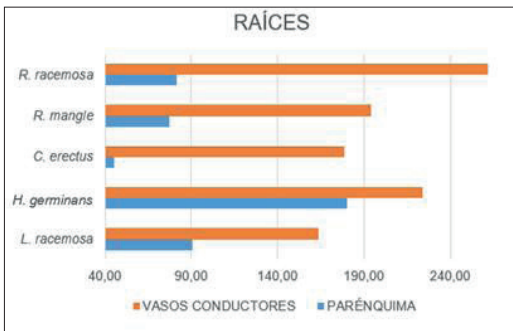


Figura 8. Comparación de vasos conductores y tejidos parenquimatosos del córtex de cinco especies de mangles.

Pecíolos

De acuerdo con los promedios de los radios del tejido parenquimatoso anterior al cilindro vascular, no se evidencian diferencias estadísticas significativas entre las cinco especies de mangle analizadas, pero con respecto a los diámetros de los cilindros vasculares, los pecíolos de *C. erectus* son significativamente diferentes a las demás, ya que obtuvieron valores mucho menores (Gráfico 2).

Raíces

El análisis demuestra que, en cuanto a vasos conductores, todas las especies de mangle difieren entre ellas, mostrando diferencias estadísticas. En cuanto al radio de los tejidos del cortex, *C. erectus* fue la especie que más difirió ya que presentó valores muy bajos (Gráfico 3).

Neumatóforos

En cuanto a aerénquima, *L. racemosa* y *H. germinans* son estadísticamente iguales, pero en cuanto a diámetro de vasos conductores, *L. racemosa* difiere al presentar diámetros mayores.

Discusión

El mayor desarrollo de ciertos tejidos puede ser una estrategia de supervivencia dependiendo del grupo de plantas, las condiciones fisicoquímicas del lugar en el que habitan y el tipo de estrés al que estén sometidas. Todas las muestras tomadas para este trabajo estaban ubicadas en el borde del sendero del Parque Lineal, por lo que no se puede discutir en base a diferencias dadas por mayor o menor proximidad a la línea costera. Los mangles generalmente desarrollan características esclerofílicas, según Lima et al. (2013), la presencia de varias capas de tejido parenquimatoso (empalizada y epidérmico) es una respuesta a los factores estresantes a los que están sometidos.

En el presente trabajo, en las hojas y pecíolos de la mayoría de las especies de mangles analizadas no se pudieron observar diferencias estadísticamente significativas en cuanto a parénquima; en todas las

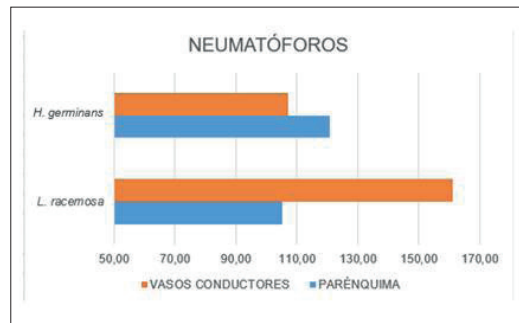


Figura 9. Análisis comparativo de vasos conductores y tejido parenquimatoso de neumatóforos en dos especies de mangles, *L. racemosa* y *H. germinans*.

hojas analizadas se encontraron esclereidas y estas según Naskar & Palit (2014), otorgan soporte a las hojas que poseen poca turgencia.

Las hojas contenían gran cantidad de cloroplastos, sin embargo, las que presentaron mayor densidad de éstos fueron *L. racemosa* y *H. germinans*, ya sea en el tejido de relleno o de empalizada. Este tipo de orgánulos muestran un gran impacto en la correcta absorción y reflexión de energía lumínica (Carvalho et al., 2005), para un correcto proceso fotosintético.

Ambas especies de *Rhizophora* mostraron hojas coriáceas, con cutícula y tejido esponjoso grueso, además de los estomas exclusivamente en el envés. Surya & Hari (2016) analizaron tres especies del género *Bruguiera*, pertenecientes a la familia Rhizophoraceae, y observaron las mismas características en sus hojas que las descritas anteriormente.

En *H. germinans* se pudieron observar estomas en la parte adaxial de las hojas, siendo ésta la única característica anatómica que difiere con las descripciones para la misma especie el trabajo de en Gonzalez-Sánchez (2013), y también con las características expuestas de *A. marina* en Sasomsaptawee et al. (2017) y Surya & Hari, (2018) y con *A. schaueriana* en Ponticel et al. (2021), estos autores afirman que las especies mencionadas son epistomáticas.

Las características de los pecíolos tanto de *R. mangle* como *R. racemosa* son similares a las que se exponen en los resultados de Nurnida & Noraini (2014), ellos discuten que características como la epidermis cutinizada y el aerénquima están asociadas con la regularización y minimización de la pérdida de agua dulce.

Las raíces y neumatóforos de *H. germinans* determinaron que su anatomía es muy similar, concordando así con la investigación de Ish-Shalom-Gordon & Dubinsky (1992), en los que detalla la similitud anatómica entre los distintos tipos de raíces. En ambas especies de *Rhizophora* se constató gran cantidad de tejido esclerenquimático y no

aerenquimatoso, como se especulaba, debido a que en el trabajo de Yáñez-espinoza & Flores (2011) se explica que la ausencia de neumatóforos en *Rhizophora* provoca que los miembros de este género dependan mayormente de sus raíces aéreas para captar oxígeno.

Conocarpus erectus posee hojas más pequeñas, peciolo con conductos vasculares de menor diámetro y raíces con menor cantidad de tejido cortical. Esta diferencia morfológica entre *Conocarpus erectus* y los llamados mangles verdaderos, *H. germinans*, *L. racemosa*, *R. mangle* y *R. racemosa*, apoya la categoría de mangle facultativo, en la que *C. erectus* ha sido previamente asignada (Cornejo, 2014).

Conclusiones

El presente estudio nos lleva a concluir lo siguiente:

-Las hojas de *Rhizophora mangle* y *R. racemosa* son similares, tanto morfológica como histológicamente.
-En ambas caras de la lámina foliar de *H. germinans* se observan abundantes tricomas piriformes de apariencia glandular, éstos ayudan a la planta a regular las cantidades de sales en su interior expulsando el exceso, además los tricomas son tan densos que cubren los estomas, esto probablemente ayude a que se reduzca un poco la pérdida de agua dulce.

-La estructura de los vasos conductores y el tejido aerenquimatoso presente tanto en raíces como en neumatóforos de *H. germinans* y *L. racemosa* son muy similares, esto quizás contribuya a una eficaz y rápida difusión de oxígeno a través de toda la planta.

-Tanto *R. mangle* como *R. racemosa* no presentaron cantidades significativas de aerénquima en sus raíces aéreas debido a que estas tienen como función principal el fijarse al sustrato para otorgar soporte y estabilidad. Este género usualmente se presenta en la franja más externa de los bosques de mangle por lo que reciben el impacto directo del mar, así que estas raíces cumplen la función de sujeción al sustrato y también contribuyen con la absorción de agua y sales. Los órganos destinados a respiración son las hojas, lo que explicaría su gruesa anatomía, y los hipocótilos.

-*Conocarpus erectus* posee hojas más pequeñas, peciolo con conductos vasculares de menor diámetro, raíces con menor cantidad de tejido cortical y no posee neumatóforos, a diferencia de *H. germinans*, *L. racemosa*, *R. mangle* y *R. racemosa*. Esto probablemente se debe a que, en cuanto a las zonas de transición de manglar, *C. erectus* se encuentra en el interior de los bosques, por lo que no recibe el impacto directo del oleaje ni tampoco sufre estrés prolongado por inundaciones.

Recomendaciones

- Analizar mediante otros protocolos recomendados para las hojas con la finalidad de

una mejor observación de cavidades estomáticas en *Hilairanthus germinans*.

- Comparar la estructura anatómica de raíces y neumatóforos con tallos.
- Comparar análisis histológicos durante época seca y con lugares menos contaminados.

Bibliografía

- Ashford, A. E., y Allaway, W. G. (1995). There is a continuum of gas space in young plants of *Avicennia marina*. *Hydrobiologia*, 295(1-3): 5-11.
- Carvalho, O. A. de, Guimarães, R. F., Souza, É. de, Ferreira, A. P. y Trancoso, R. A. (2005). Aplicação do método de identificação espectral para imagens do sensor Aster em ambiente fechado. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2): 159-172.
- Cornejo, X. (2014). Árboles y arbustos de los Manglares del Ecuador. MAE (Ministerio Del Ambiente Del Ecuador); FAO (Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, IT)., 48. <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55818.pdf>
- Cornejo, X. (2019). Plantas de los manglares de la costa del Pacífico de América del Sur (Colombia, Ecuador, Perú). *Manglares de América*.
- Cornejo, X. (2020). The Reinstatement of *Hilairanthus* (Acanthaceae): A genus from Neotropical and Western-Paleotropical mangroves. *Harvard Papers in Botany*, 25: 231-235.
- Díaz Gaxiola, J.M. (2011). Una revisión sobre los manglares: características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema lagunar de Topolobampo. *Ra Ximhai*, 7(3): 355-369.
- Evans, D.E. (2003). Aerenchyma formation. *New Phytologist*, 161: 35-49.
- Evans, L.S., Testo, Z.M., Cerutti, J.A., The, S., Society, B., Evans, L.S., Testo, Z.M. y Cerutti, J.A. (2009). Characterization of internal airflow within tissues of mangrove species from Australia: leaf pressurization processes. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 136(1): 70-83.
- Gómez-Villamonte, A.K., Rodríguez, R., Villarreal, R., Gonzáles, A. y Piepnbring, M. (2010). Guía de mangles de la Costa Pacífica de Chiriquí, Panamá. *Puente Biológico*, 3: 33-49.
- Gonzalez-Sánchez, A. R. (2013). *Respuesta fisiológica y caracterización estomática de tres especies de mangle en el estero de Tumulco, Tuxpan, Veracruz*. Univesidad Veracruzana.
- Guamán-Burneo, M. C. y González-Romero, N.P. (2016). *Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador*. Corporación para la investigación Energética, Laboratorio de Biotecnología Energética, Quito, Ecuador.
- Hamilton, S.E. (2020). Botany of Mangroves. En: *Mangroves and aquaculture* (pp. 1-40). Springer, Cham.
- Hogarth, P. J. (2013). Mangrove Ecosystems. En: S.A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)* (pp. 10-22).
- Ish-shalom-gordon, N. y Dubinsky, Z. (1992). Ultrastructure of the pneumatophores of the mangrove *Avicennia marina*. *South African Journal of Botany*, 58(5): 358-362.
- Kathiresan, K. y Bingham, B.L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40: 81-251.
- Lima, C.S., Torres-Boeger, M.R., Carvalho, L.L. y Soffiatti, P. (2013). Sclerophylly in mangrove tree species from South Brazil. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4): 1159-

- 1166.
- Lonard, R.I., Judd, F.W., Summy, K.R., Deyoe, H. y Stalter, R. (2017). The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Avicennia germinans* (L.) L. *Journal of Coastal Research*, 33(1): 191-207.
- López Rodríguez, F. (2018). Mangrove Concessions: An Innovative Strategy for Community Mangrove Conservation in Ecuador. In: C. Makowski y C. Finkl (Eds.), *Threats to Mangrove Forests. Coastal Research Library* (pp. 557-578). Springer, Cham.
- Lucena, I., Maciel, V.E.D.O., Silva, J.B., Josiclêda, D. y Pimentel, R.M.D.M. (2011). *Leaf structure of mangrove species to understand the spectral responses*. 2: 19-31.
- MckEE, K.L. y Mendelsohn, I.A. (1987). Roots metabolism in the black mangrove (*Avicennia germinans* (L.) L.): response to hypoxia. *Environmental and Experimental Botany*, 27(2): 147-156.
- Naskar, S. y Palit, P.K. (2014). Anatomical and physiological adaptations of mangroves. *Wetlands Ecology and Management*, 23(3): 357-370.
- Nurnida, M.K. y Noraini, T. (2014). Petiole anatomical characteristics of Mersing tidal Rhizophoraceae. *Malayan Nature Journal*, 66(3): 54-59.
- Ponticel, L., Bezerra, J., Nunes, B. y Garcia, B. (2021). Modulation of anatomical adaptations of leaves of *Avicennia schaueriana* (Acanthaceae) by a galling *Meunieriella* (Cecidomyiidae). *Flora*, 274: 151750. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151750>
- Primavera, J.H., Friess, D.A., Van Lavieren, H. y Lee, S.Y. (2018). The mangrove ecosystem. In: *World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts* (Second Ed., Vol. 2012, Issue 2011). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00001-2>
- Purnobasuki, H. & Suzuki, M. (2004). Aerenchyma formation and porosity in root of a mangrove plant, *Sonneratia alba* (Lythraceae). *Journal of Plant Research*, 117(6): 465-472.
- Quevedo, O., Cerón, J., Cerón, R., Jaramillo, B., Calderón, M., Inshivotkina, Y. y Revelo, W. (2018). Morphological responses of *Rhizophora harrisonii* by pollution in the main port zone of Guayaquil-Ecuador. *AIP Conference Proceedings*, 1982. <https://doi.org/10.1063/1.5045429>
- Sasomsaptawee, M., Kermanee, P. y Jintana, V. (2017). Anatomical character of a mangrove species *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. (ACANTHACEAE). En 55. *Kasetsart University Annual Conference, Bangkok (Thailand), 31 Jan-3 Feb 2017*.
- Sou, H. D., Masumori, M., Kurokuchi, H. & Tange, T. (2019). Histological observation of primary and secondary aerenchyma formation in adventitious roots of *Syzygium kunstleri* (King) Bahadur and R.C.Gaur grown in hypoxic medium. *Forests*, 10: 137. <https://doi.org/10.3390/f10020137>
- Srikanth, S., Lum, S. K. Y. y Chen, Z. (2015). Mangrove root: adaptations and ecological importance. *Trees - Structure and Function*, 30(2): 451-465.
- Surya, S. y Hari, N. (2016). Comparative study on foliar and petiole anatomy of the genus *Bruguiera* L. in mangrove forest of Kerala. *Journal of Academia and Industrial Research*, 5(7): 92-97.
- Surya, S. y Hari, N. (2018). Anatomical , morphological , palynological , phytochemical and molecular profiling of medicinal mangrove *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 3(7).
- Tomlinson, P.B. (1986). *The Botany of mangroves*. Cambridge University Press.
- Wang, W., Yan, Z., You, S., Zhang, Y., Chen, L. y Lin, G. (2011). Mangroves: Obligate or facultative halophytes? A review. *Trees - Structure and Function*, 25(6): 953-963.
- West, R.C. (1956). Mangrove swamps of the Pacific Coast of Colombia. *Annals of the Association of American Geographers*, 46(1): 98-121.
- Yáñez-espinoza, L. y Flores, J. (2011). A Review of Sea-Level Rise Effect on Mangrove Forest Species : Anatomical and Morphological Modifications. En: S. Casalegno (Ed.), *Global Warming Impacts - Case Studies on the Economy, Human Health, and on Urban and Natural Environments*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/24662>