Vectores de dispersión de polen y diversidad de artrópodos asociados a las flores del mangle rojo (*Rhizophora mangle)* L.

Tania Carolina Hoyos Ruíz

Universidad Magdalena

Facultad, Ciencias Básicas

Programa Biología

Santa Marta, Colombia

2021

Informe de pasantía en el marco del proyecto: Interacciones planta-polinizador en bosques de manglar en proceso de restauración: "Vectores de dispersión de polen y diversidad de artrópodos asociados a las flores del mangle rojo (*Rhizophora mangle)* L.".

Tania Carolina Hoyos Ruíz

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Bióloga

Directora:

Dra. Paula María Montoya Pfeiffer

Línea de Investigación:

Rehabilitación de Ecosistemas Marinos y Costeros – RAE del programa de Calidad Ambiental Marina – CAM

Grupo de Investigación:

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis INVEMAR

Universidad del Magdalena

Facultad, Ciencias Básicas

Programa Biología

Santa Marta, Colombia

2021

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Magdalena para optar al título de Bióloga.

Jurado

Santa Marta, 01 de octubre de 2021

Dedicatoria

A mi mamá Mayuris Ruíz que, aunque ya no se encuentra en esta tierra para acompañarme en este logro, sé que en el lugar en donde está se siente orgullosa al ver que he cumplido lo que le dije a mis 12 años: - "Mami cuando yo sea grande quiero estudiar a las plantas, así como José Celestino Mutis", a lo que ella respondió: - "Con el favor de Dios lo harás".

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios Todopoderoso que me permitió despertar cada mañana con la motivación de seguir adelante hacia la meta, por regalarme la ciencia y sabiduría que necesité para hacer realidad este sueño y porque su infinito amor nunca se apartó de mí, a Él sea la gloria.

A mi abue Ana, quien desde siempre cultivó en mí el amor hacia las plantas, a mi tía Shirley, mi hermanito José David, y a mis tíos Mario y Yesid quienes me enseñaron amar a los animales y me apoyaron desde el principio de mi carrera.

A mi papá John Jairo Hoyos, quien a pesar de la distancia estuvo pendiente de mí y me ayudó a mantenerme persistente en la realización de este sueño.

A la Universidad del Magdalena, la Facultad de Ciencias Básicas y el Programa de Biología por darme la oportunidad de hacer parte de ellos, por el apoyo profesional y económico que me brindaron y a cada uno de mis profesores quienes me trasmitieron sus conocimientos, en especial a María Negritto y Bladimir Zúñiga, quienes me ayudaron y motivaron a la realización de esta pasantía.

Al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreís-INVEMAR, el programa Calidad Ambiental Marina-CAM y la línea Rehabilitación de Ecosistemas Marinos y Costeros- RAE, por abrirme sus puertas y apoyarme en mi desarrollo profesional.

A mi directora Paula Montoya, por sus enseñanzas, paciencia y dedicación.

A Catalina Arteaga, Fernando Dorado y Miguel Martelo del Museo de Historia Natural Marina de Colombia Makuriwa, por su apoyo en la revisión de muestras.

A mi novio Giovanny Rico, por creer en mi desde siempre. A mi mejor amiga Mariana Corro, por animarme a seguir. Y a mis colegas y amigos Nina Maiguel, María Isabel Maya, Angy Navarro, Cristian García, Johan Roncallo y Rafael Avendaño, estudiantes de la Universidad del Magdalena, por su apoyo incondicional y por comprarme muchas galletas.

Resumen

Rhizophora mangle es una de las especies más representativas de los bosques de manglar neotropicales, participa en la captura del carbono del aire, el reciclaje de nutrientes y disminuye las zonas de inundación. Estudios realizados hasta el momento indican que *R. mangle* es polinizada primariamente por el viento y secundariamente por insectos. Sin embargo, se desconoce cuál es el alcance de dispersión de polen a través del viento y la manera como varía la abundancia de insectos polinizadores en función del área de manglar. Además, se ha observado que las flores de *R. mangle* son el refugio de una gran cantidad de ácaros, pero es poco los que se sabe sobre ellos. Con esta investigación se buscó determinar el alcance de dispersión de polen a través del viento, la riqueza de especies y abundancia de visitantes florales, la densidad de ácaros en las flores y su papel en la polinización de esta especie, para ello se recolectaron flores y visitantes florales de *Rhizophora mangle* durante 30 salidas de campo a ocho parches de manglar ubicados en Santa Marta, Ciénaga y Pueblo Viejo (Magdalena). Los resultados arrojaron que la dispersión de polen a través del viento en *R. mangle* fue de corto alcance (24 cm), así mismo la abundancia de visitantes florales fue baja; 27 individuos pertenecientes a 9 especies, por lo tanto, se considera que ambos vectores (viento o visitantes florales) son insuficientes para la dispersión de polen en esta especie. Por el contrario, la densidad de ácaros fue alta (1-346 ácaros/flor) y en su mayoría presentaron granos de polen adheridos al cuerpo (53%), lo cual indica su posible participación como polinizadores. También se encontró que el área de manglar influye positivamente tanto en la abundancia de visitantes florales como en la densidad de ácaros, lo que puede deberse a la cantidad de flores disponibles. Se concluye que ambos vectores (viento-visitantes florales) son insuficientes para la dispersión de polen en esta especie, se evidenció la posible participación de los ácaros en la polinización de *R. mangle,* y se demostró que la cantidad de visitantes florales y de ácaros aumenta con el área del manglar.

Palabras clave: *Rhizophora mangle L*., Polinización, Insectos, Ácaros.

ABSTRACT

Rhizophora mangle is one of the most representative species of neotropical mangrove forests, participates in the capture of carbon from the air, the recycling of nutrients and reduces flood zones. Studies carried out so far indicate that *R. mangle* is pollinated primarily by wind and secondarily by insects. However, the extent of pollen dispersal through the wind and the way in which abundance of pollinating insects varies depending on the mangrove area is unknown. In addition, *R. mangle* flowers have been found to be a refuge for a large number of mites, but little is known about them. This research sought to determine the extent of pollen dispersal through the wind, the species richness and abundance of floral visitors and the density of mites in the flower and its role in the pollination of this species, for this, flowers and floral visitors of *R. mangle* were collected during 30 field trips in eight mangrove patches located in Santa Marta, Ciénaga and Pueblo Viejo (Magdalena). The results showed that the pollen dispersion through the wind in *R. mangle* was short range (24 cm), likewise the abundance of floral visitors was low; 27 individuals belonging to 9 species, therefore, it is considered that both vectors (wind or floral visitors) are insufficient for the dispersal of pollen in this species. On the contrary, the density of mites was high (1-346 mites / flower) and several of them had pollen grains attached to the body (53%), which indicates their possible participation as pollinators. The mangrove area was also found to positively influence both the abundance of floral visitors and the density of mites, which may be due to the number of flowers available. It is concluded that both vectors (wind-floral visitors) are insufficient for the dispersion of pollen in this species, the possible participation of mites in the pollination of *R. mangle* was evidenced, and was demonstrated that the number of floral visitors and mites increases with the mangrove area.

Keywords: ***Rhizophora mangle L.*****, Pollination, Insects, Mites.**

Contenido

pág.

Resumen **6**

Contenido **8**

Lista de figuras **9**

Lista de tablas **10**

1. Capítulo 1: Introducción **11**
1.1 Introducción 11
1.2 Objetivos 8
1.3 Área de estudio 8
1.4 Bibliográfia 9

2. Capítulo 2: Dispersión de polen a través del viento **16**
2.1 Resumen 16
2.2 Metodología 16
2.2.1. Diseño experimental 16
2.2.2. Análisis de datos 17
2.3 Resultados 18
2.4 Discusión 20
2.5 Bibliografía 21

Capítulo 3: Dispersión del polen a través de insectos **22**
3.1 Resumen 22
3.2 Metodología 22
3.2.1. Diseño experimental 22
3.2.2. Análisis de datos 23
3.3 Resultados 23
3.4 Discusión 26
3.5 Bibliografía 28

4. Capítulo: Dispersión de polen a través de ácaros **30**
4.1 Resumen 30
4.2 Metodología 30
4.2.1. Diseño experimental 22
4.2.2. Análisis de datos 23
4.3 Resultados 31
4.4. Discusión 35
4.5 Bibliografía 37

5. Conclusiones **39**

A. Anexo: Abreviaturas **40**

B. Anexo: Glosario **41**

Lista de figuras

.....Pág.

Figura 1. Área de estudio: Ubicación de los fragmentos de manglar donde se realizaron los muestreos……..……..9

Figura 2. Montaje “Megaestigma” (Kevan et al., 2006) usado para medir el alcance de dispersión de polen en *Rhizophora mangle*……..……..12

Figura 3. Granos de Polen de *Rhizophora mangle* adheridos al megaestigma.....…...13

Figura 4. Relación entre la cantidad de granos de polen de *Rhizophora mangle*, la distancia de dispersión y la Velocidad del viento……..……...…….…...14

Figura 5. Riqueza de especies de visitantes florales (insectos) de *Rhizophora mangle* en los sitios de muestreo ……....19

Figura 6. Abundancia de familias de visitantes florales (insectos) de *Rhizophora mangle*…….……..19

Figura 7. Abundancia de visitantes florales (insectos) de *Rhizophora mangle* con respecto al área de cobertura de manglar ……..…20

Figura 8. Ácaros habitantes de las flores de *Rhizophora mangle*……..27

Figura 9. Densidad de ácaros de *Rhizophora mangle* con respecto al área de cobertura del manglar ….……...…….28

Figura 10. Granos de polen adheridos a los ácaros habitantes de las flores de *Rhizophora mangle*……..…29

Figura 11. Comparación de la cantidad de granos de polen adheridos a los ácaros habitantes de *Rhizophora mangle* conservados en alcohol (liquido) y los que fueron transportados por el viento (seco.……30

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Modelo lineal generalizado (MLG) para la cantidad de granos de polen de *Rhizophora mangle* dispersada en función de la distancia y la velocidad del viento**……13**

Tabla2. Modelo lineal generalizado (MLG) para la abundancia de visitantes florales con respecto al área de cobertura de manglar**……..……20**

Tabla 3. Modelo lineal generalizado (MLG) para la abundancia de ácaros en función del área de cobertura del manglar**……..…..27**

Tabla 4. Modelo lineal generalizado (MLG) para la cantidad de granos de polen adheridos al cuerpo de los ácaros conservados en alcohol y los ácaros transportados por el viento**……....29**

1. Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

Rhizophora mangle L. (Rhizophoraceae) es una de las especies más representativas del bosque de manglar neotropical y posee un amplio rango de distribución en América, encontrándose presente en las costas del océano Pacifico y el Caribe, en sitios con influencia de agua salada como lagunas, estuarios, bahías y ciénagas (Conabío, s.f.). Su ubicación en las zonas intermareales le ha permitido ser el refugio de una gran cantidad de especies con valor económico que pasan parte de su ciclo de vida en las raíces, tronco y copa del árbol, entre los que podemos mencionar esponjas, crustáceos, moluscos y larvas de insectos (Cedeño, 2010; Cornejo, 2015).

A pesar de que existen numerosas investigaciones sobre varios aspectos de la historia natural de *R. mangle (*Bowman,1917*;* Tomlinson et al., 1979; Farnsworth et al., 1996), aún es poco los que se ha estudiado sobre su polinización. Conocer aspectos acerca de la polinización de esta especie es importante para comprender sus dinámicas poblacionales y ecosistemicas, puesto que de la polinización depende la cantidad y calidad de las semillas (Lundgren, et al., 2016), así como también la diversidad genética que contribuye a mejorar su resiliencia frente a perturbaciones naturales como huracanes o aumento del nivel del mar, y perturbaciones antropogénicas como incendios, tala, etc. (Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda, 2012).

Los trabajos realizados hasta el momento sugieren que *R. mangle* es polinizada por el viento (Tomlinson et al., 1979; Menezes et al., 1996; Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda 2012; Nadia & Machado, 2014), sin embargo, no se ha demostrado experimentalmente si se presenta dispersión de polen a través del viento y cuál podría ser su alcance de dispersión. En este trabajo se buscó determinar el efecto de la velocidad del viento y la distancia sobre la cantidad de granos de polen dispersados de *R. mangle* con la expectativa de encontrar que la cantidad de granos de polen disminuya con la distancia de dispersión y aumente con la velocidad del viento y que la distancia máxima de dispersión se asemeje a la de otras especies anemófilas.

Por otra parte, también existen varios estudios que demuestran la presencia de insectos visitantes en las flores de *R. mangle*, pero que al parecer juegan un papel secundario en

la polinización de esta especie debido a que sus visitas suelen ser muy esporádicas (Menezes et al., 1996, Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda, 2012; Nadia & Machado 2014). La disponibilidad de insectos polinizadores parece influir estrechamente en la tasa de entrecruzamiento de *R. mangle* dado que los insectos son más eficientes que el viento para transportar los granos de polen entre flores más distantes entre sí (Cerón-Souza et al., 2012). Por otra parte, también se ha visto que la diversidad y abundancia de polinizadores en general tiende aumentar con el tamaño poblacional y densidad de flores en otras especies vegetales (Molina y Cavieres, 2006). Tomando en cuenta las anteriores consideraciones, en este trabajo se investigó la influencia del área del manglar sobre la abundancia de insectos visitantes en las flores de *R. mangle*.

Adicionalmente, existen registros de ácaros que se alimentan de néctar y polen, y desarrollan su ciclo de vida en las flores de *R. mangle* (Faraji y Cornejo 2006). Sin embargo, se desconoce cuál es la densidad de ácaros en las flores y si el tamaño poblacional de *R. mangle* influye en su densidad, debido a los cambios que se generan en la disponibilidad de flores. En este trabajo se cuantificaron los ácaros encontrados en las flores de *R. mangle* y se comprobó si existe una relación entre el área de cobertura de manglar y la densidad de ácaros, esperando que la cantidad de ácaros aumente con el tamaño del área de cobertura de manglar. Además, se sabe que en la especie de mangle *Bruguiera gymnorhiza* (Rhizophoraceae), el polen puede ser transportado por los ácaros de una flor a otra trasladándose por la misma planta por medio de las ramas, o de insectos y aves visitantes (Seeman, 1996). Sin embargo, aún se desconoce si los ácaros de manglares pueden transportar polen adherido a su cuerpo a árboles más alejados, ya sea movilizándose a través del agua al caer junto con las flores que se desprenden de las ramas, o al ser arrastrados por el viento. Existen registros de varias especies de ácaros que habitan en el mar y en zonas intersticiales (Procheş & Marshall, 2001; Pfingstl et al., 2014), así como también de ácaros que son transportados por el viento (Lehmitz et al., 2011) pero se desconoce si esos medios (líquido y aire) afectan el transporte de los granos de polen adheridos a su cuerpo. Por esta razón, en este trabajo se analizó el potencial de los ácaros para dispersar polen, cuantificando los granos de polen adheridos a su cuerpo, y comparando la cantidad de granos de polen en ácaros que estuvieron sumergidos en un medio líquido (alcohol) y otros que permanecieron secos y fueron transportados por el viento, la hipótesis para este resultado es que se encuentrará un mayor número de granos de polen en los ácaros que fueron transportados por el viento.

1.2 Objetivos

General

Comparar las estrategias de dispersión de polen de *Rhizophora mangle* en bosques de manglar con diferente área de cobertura.

Específicos

- Determinar el alcance del polen dispersado por el viento en *R. mangle.*
- Estimar la riqueza de especies y la abundancia de visitantes florales (insectos) de *R. mangle* según el área de cobertura del manglar.
- Cuantificar los ácaros que habitan en las flores de *R. mangle* teniendo en cuenta el área de cobertura de manglar y analizar su potencial polinizador.

1.3 Área de estudio

El trabajo se realizó en ocho fragmentos de bosque de manglar (Naguanje, Chengue, Manzanares, Gaira, Cabo Tortuga, Córdoba, zona urbana de Pueblo Viejo y un parche de la Ciénaga Grande de Santa Marta) ubicados en los municipios de Santa Marta, Ciénaga y Pueblo Viejo en la zona costera del departamento del Magdalena (Figura 1).

Los ocho fragmentos representan un gradiente de área de cobertura de manglar entre 0,24 ha y 37,47 ha, con la presencia de la especie *Rhizophora mangle* y otras especies de manglar *Avicennia germinans* (Acanthaceae), *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) y *Conocarpus erectus* (Combretaceae). El paisaje circundante a los fragmentos varía desde áreas naturales protegidas, rurales, suburbanas y urbanas, donde se pueden presentar ecosistemas de bosque seco, humedales, dunas costeras, áreas urbanas, cultivos y pastizales para ganadería. El clima presenta dos épocas lluviosas en los meses de abril a junio (400-600mm), y de septiembre a noviembre (600-800mm), y dos épocas secas de julio a septiembre y de diciembre a marzo. La temperatura varía entre 24 y 34 °C y la precipitación mensual entre 0 y 134 mm (IDEAM 2020).

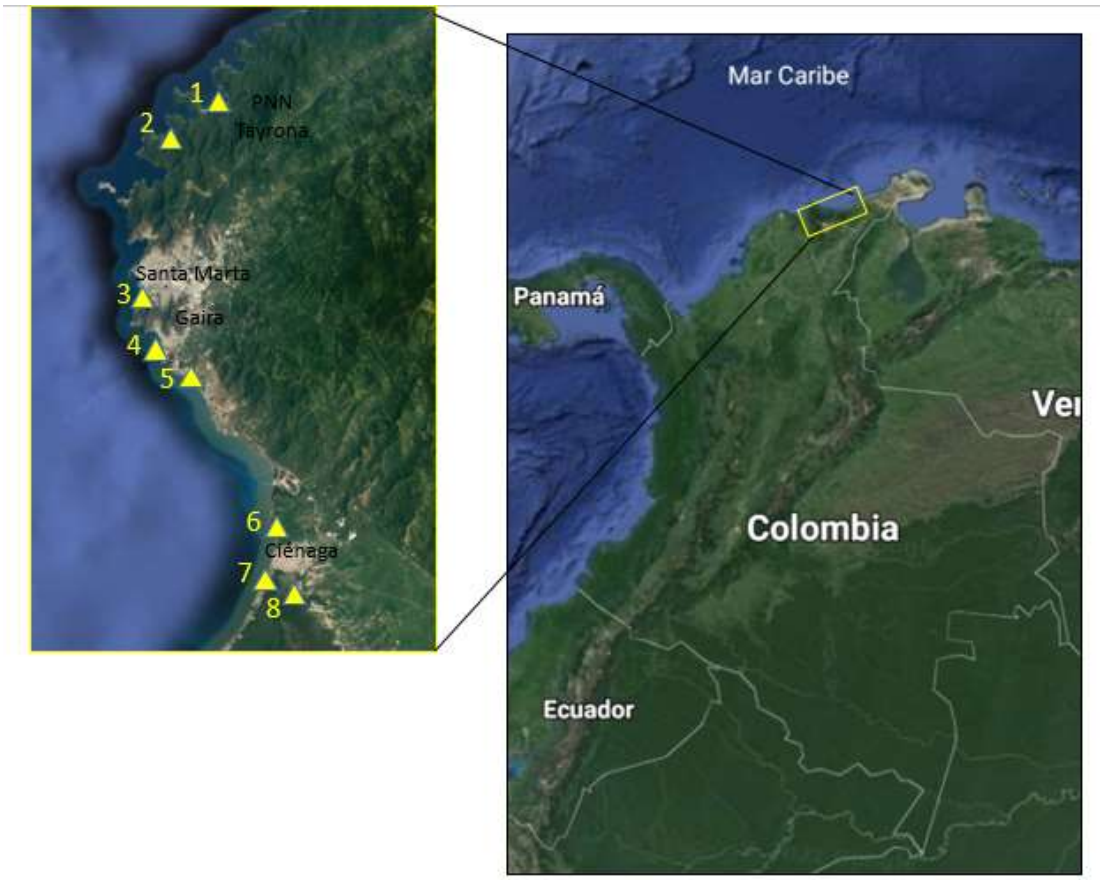

Figura 1. Área de estudio: Ubicación de los fragmentos de manglar donde se realizaron los muestreos: 1) Neguanje. 2) Chengue. 3) Manzanares. 4) Gaira. 5) Cabo Tortuga. 6) Córdoba. 7) Pueblo Viejo. 8) Ciénaga Grande de Santa Marta.

1.4 Bibliografía

Bowman, H. (1917). Ecology and Physiology of the Red Mangrove. Proceedings of the *American Philosophical Society*, 56(7), 589-672. Retrieved May 24, 2021.

Cedeño, J., Jiménez, M., Pereda, L. & A. Thays. (2010). Abundancia y riqueza de moluscos y crustáceos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en la laguna de Bocaripo, Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, *58*(Suppl. 3), 213-226.

Cerón-Souza, I., Bermingham, E., McMillan, W. O., & Jones, F. A. (2012). Comparative genetic structure of two mangrove species in Caribbean and Pacific estuaries of Panama. *BMC evolutionary biology*, 12(1), 205.

Conabio.gob.mx. (s.f.) *Rhizophora mangle*. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/58-rhizo1m.pdf> [Accessed 21 March 2021].

Cornejo, X. (2015). Contribución al conocimiento de la fauna entomológica de los manglares: *Olla roatanensis Vandenberg* y *Cheilomenes sexmaculata Fabricius*, dos nuevos registros de

Coleoptera: Coccinellidae para Ecuador y Perú. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales*. 8. 76-80.

Faraji, F. & Cornejo, X. (2006). A new *Hattena Domrow* (Acari: Ameroseiidae) from Ecuadorian mangroves and a new generic record for South America. *International Journal of Acarology* - INT J ACAROL. 32. 287-291. 10.1080/01647950608684470.

Farnsworth, E.J., Ellison, A.M. & Gong, W.K. (1996). Elevated CO2 alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oecologia* 108, 599–609.

IDEAM (2020). Datos hidrometeorológicos. http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

Lehmitz, R., Russell, D., Hohberg, K. Christian, A. and W. Xylander. (2011). Wind dispersal of oribatid mites as a mode of migration, *Pedobiologia*, Vol 54, Issue 3, Pag. 201-207, ISSN 0031-4056.

Lundgren, R., Totland, Ø., & Lázaro, A. (2016). Experimental simulation of pollinator decline causes community-wide reductions in seedling diversity and abundance. *Ecology*, 97(6), 1420-1430.

Menezes, M. P. M., Oliveira, D., & Mello, C. F. (1996). Pollination of red mangrove, *Rhizophora mangle*, in northern Brazil. In *VII International Symposium on Pollination* 437 (pp. 431-434).

Molina, M. & Cavieres, A. (2006). Effect of density and flower size on the reproductive success of *Nothoscordum graminum* (Alliaceae). *Gayana. Botánica*, *63*(1), 93-98.

Nadia, T. d. L., & Machado, I. C. (2014). Wind pollination and propagule formation in *Rhizophora mangle* L.(Rhizophoraceae): resource or pollination limitation?. Anais da *Academia Brasileira de Ciências*, 86(1), 229-238.

Pfingstl, T., Lienhard, A., & J. Jagersbacher-Baumann. (2014). Hidden in the mangrove forest: the cryptic intertidal mite *Carinozetes mangrovi* sp. nov. (Acari, Oribatida, Selenoribatidae). *Exp Appl Acarol* 63, 481–495.

Procheş, Ş. and Marshall, D.J. (2001). Global distribution patterns of non-halacarid marine intertidal mites: implications for their origins in marine habitats. *Journal of Biogeography.* 28: 47-58.

Sánchez-Núñez, D. & J. Mancera-Pineda. (2012). Pollination and fruit set in the main neotropical mangrove species from the Southwestern Caribbean. *Aquatic Botany*, Vol. 103,11. Pag. 60-65, ISSN 0304-3770.

Seeman, O. (1996) Flower Mites and Phoresy: the Biology of *Hattena Panopla* Domrow and *Hattena Cometis* Domrow (Acari:Mesostigmata:Ameroseiidae). *Australian Journal of Zoology* 44, 193-203.

Tomlinson, P. B., Primack, R. B., & Bunt, J. S. (1979). Preliminary observations on floral biology in mangrove Rhizophoraceae. *Biotropica*, 256-277.

2. Capítulo 2: Dispersión de polen a través del viento

2.1 Resumen

De acuerdo a la literatura *Rhizophora mangle* es considerada una especie principalmente anemófila; es decir, que el polen es transportado por el viento. Sin embargo, no hay estudios que demuestren cuál es la distancia que puede recorrer el polen hasta llegar a la flor receptora, en este trabajo se planteó determinar el alcance de dispersión de polen de *R. mangle* y la relación entre la cantidad de granos de polen, la distancia y la velocidad del viento. Se realizaron 4 salidas de campo a la zona urbana de Pueblo Viejo y a un parche de la Ciénaga Grande de Santa Marta, donde se recolectaron 48 flores, para la captura de los granos de polen se utilizó el modelo "Megastigma" (Kevan et. al, 2006). Los resultados demostraron que el alcance de dispersión de polen de *R. mangle* es de 24cm, la cual es corta teniendo en cuenta que otras especies anemófilas tienen un alcance de dispersión de hasta 7km. También se encontró que la cantidad de granos de polen aumenta con la velocidad del viento, pero disminuye con la distancia, por lo que sería poco probable que el polen llegue a individuos de parches diferentes, favoreciendo de esta manera a la endogamia. A largo plazo la endogamia podría reducir la tasa de reproducción de *R. mangle*, y con ello se reduciría también el área de cobertura del manglar.

2.2 Metodología

2.2.1. Diseño experimental

Para probar si el polen de *R. mangle* es dispersado por el viento, se recolectaron 48 flores con polen en las anteras (flores protándricas, Nadia y Machado 2014) en la zona urbana de Pueblo Viejo y en un parche de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Se utilizaron láminas plásticas de 10cm x 3cm x 0.05 cm, perforadas con 10 agujeros de 0,5 cm de radio cada uno, a las que se le colocó papel adhesivo transparente Con-Tact ® en una de sus caras con el fin de que los granos de polen esparcidos por el viento quedaran atrapados en los agujeros, tal y como como lo plantea el modelo "Megastigma" elaborado por Kevan et al., (2006). Se colocaron tres flores frente a tres láminas (una lámina por cada flor) que estaban colgadas con ganchos de ropa en una cuerda horizontal, a cuatro diferentes distancias (1

cm, 3 cm, 5cm, 10cm tres flores/láminas en cada distancia) (Figura 2). Las flores y láminas fueron sometidas a la fuerza contracorriente de tres velocidades de viento artificial (5.23, 4.64 y 3.48 m/s) que fueron simuladas por un ventilador y medidas con un anemómetro. También se realizó el mismo tratamiento ante la exposición de la corriente natural del viento en el mes de marzo, la cual fue de 4.16 m/s (En total se obtuvieron 48 réplicas). Posteriormente, y con la ayuda del microscopio, se cuantificaron los granos de polen que quedaron adheridos en el papel adhesivo de las láminas.

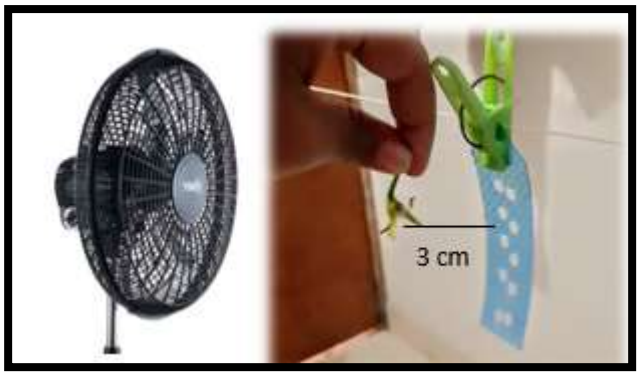

Figura 2. Montaje del “megaestigma” (Kevan et al., 2006) usado para medir el alcance de dispersión de polen en *Rhizophora mangle*.

2.2.2. Análisis de datos

Como variable respuesta se tomó la cantidad de granos de polen en los megaestigmas, la cual se ajustó a una distribución de Poisson debido a que es una variable cuantitativa discreta (Durban, s.f.). Como variables explicativas se tuvieron en cuenta la distancia de dispersión del polen y la velocidad del viento. Los datos se analizaron utilizando un modelo lineal generalizado (MLG), con un nivel de significancia *p* de 0.05 y el valor de devianza explicada que representa la dispersión de los datos (entre más alto sea el porcentaje de devianza, menos dispersión hay entre los datos y más relacionadas se encuentran las variables). Los procedimientos se realizaron en el programa Excel y R v.3.5.0. (R Development Core Team, 2019), paquete “lme4” (Bates et al., 2015) y paquete “visreg” (Breheny & Burchett (2017).

2.3 Resultados

La cantidad de polen total capturado por el megaestigma fue de 18.679 granos, un promedio de 389,14 granos/flor (Figura 3).

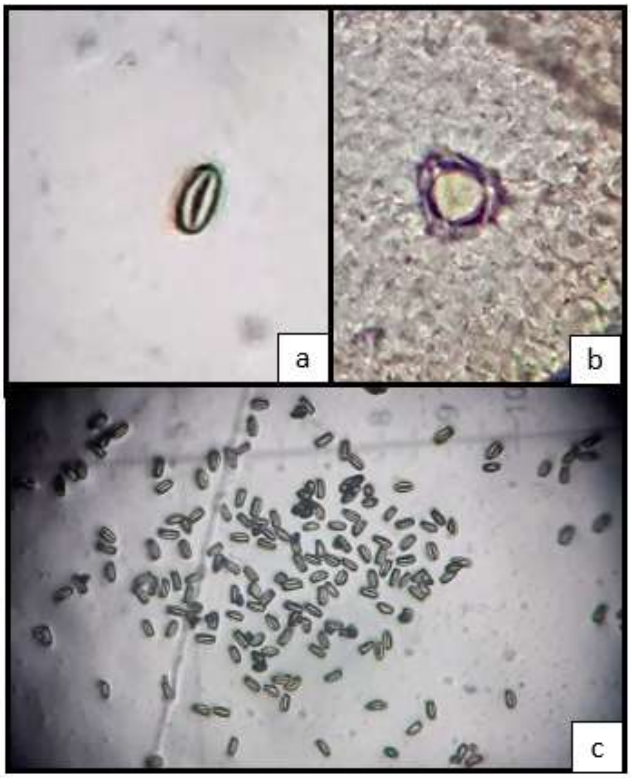

Figura 3. Granos de polen de *Rhizophora mangle* adheridos al megaestigma. **a.** vista ecuatorial (40x) **b.** vista polar (40x) **c.** grupo de granos en vista ecuatorial (10x).

Tabla 1. Modelo lineal generalizado (MLG) para la cantidad de granos de polen de *Rhizophora mangle* dispersada en función de la distancia y la velocidad del viento.

	Coeficiente Estimado	Error estándar	Valor Z	Valor P
(Intercepto)	48.165062	0.05635	68.76	<2e-16 ***
Distancia	-0.932812	0.00238	-29.22	<2e-16 ***
Velocidad	1.705333	0.01200	44.50	<2e-16 ***

Códigos de significancia: '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Los resultados del MLG (Tabla 1) indicaron que tanto la distancia como la velocidad del viento se relacionan significativamente con la cantidad de granos de polen. Así mismo, los coeficientes estimados indicaron que la distancia se relacionó de manera negativa con la cantidad de granos de polen (coeficiente estimado = -0.932812), mientras que la velocidad del viento se relacionó positivamente (coeficiente estimado = 1.705333), con un porcentaje de devianza explicada de los datos de un 87%.

A 1 cm de distancia y a la máxima velocidad del viento se presentó mayor dispersión de granos de polen, mientras que hubo menos dispersión a 10cm y a la menor velocidad. Es decir que el número de granos de polen dispersados disminuyó con la distancia, pero aumentó con la velocidad del viento. La distancia máxima de dispersión estimada fue de 24 cm (Figura 4).

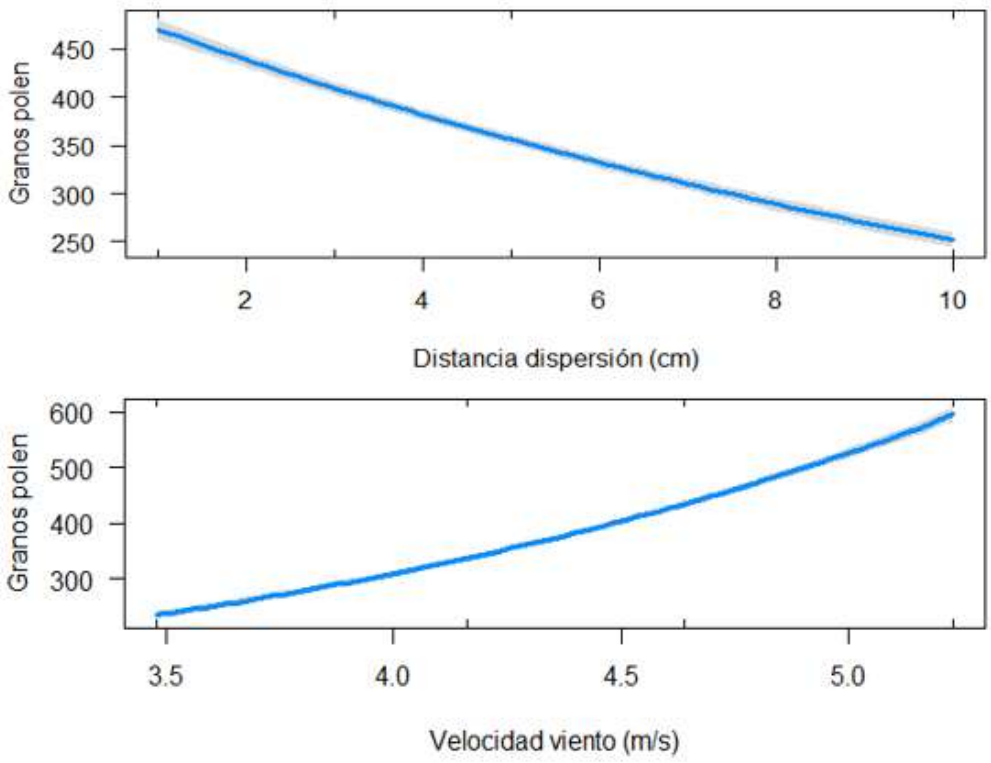

Figura 4. Relación entre la cantidad de granos de polen de *Rhizophora mangle*, la distancia de dispersión y velocidad del viento.

2.4 Discusión

La relación observada entre la cantidad de polen con la distancia y la velocidad del viento demuestra que en efecto *Rhizophora mangle* presenta dispersión por viento o anemofilia. No obstante, el alcance de dispersión estimado fue muy corto (24 cm), en comparación con la distancia estimada (experimentalmente) de dispersión de polen en especies anemófilas como; *Rhizophora racemosa* (12 m) la más cercana filogenéticamente a *R. mangle*, y a otras especies lejanas como *Populus trichocarpa* (Salicaceae) que es de 7,5 km aprox. (Slavov et al., 2009) y la de *Juglans mandshurica* (Juglandaceae) es 10-15 m aprox. (Bai et al., 2007).

Pero además de la distancia y el viento, en la naturaleza existen otros factores que intervienen en este mecanismo de dispersión, por ejemplo, la lluvia, la cual ocasiona la caída de los granos de polen al suelo, disminuyendo su tiempo en el flujo de aire, sin embargo, se observó que la reproducción de *R. mangle* es mayor en temporada de lluvia, lo cual no concuerda con la idea de que el polen sea transportado por el viento a largas distancias. Otro factor es la estructura del ecosistema, haciendo referencia a la densidad de los bosques, se ha estudiado que en los bosques densos (aquellos que tienen mayor número de individuos por área), como los bosques de Rhizophora es más difícil el transporte de polen y que la dispersión eólica es más frecuente en áreas que son florísticamente menos diversas, y con una vegetación baja o caducifolia. También, cabe resaltar la importancia que tiene la altura del suelo a la que se encuentran las flores y la fuente receptora, puesto que estudios sobre la aerodinámica de la dispersión revelan que la velocidad del viento aumenta con la altura (Whitehead, 1969; Regal, 1982, Ackerman, 2000).

Al relacionar estos factores y teniendo en cuenta que en el Caribe colombiano la velocidad del viento oscila entre los 2 m/s y los 5 m/s (IDEAM, 2021) menor a la velocidad máxima de viento artificial usada en este experimento (5,16 m/s), se confirma que el viento es un vector de dispersión de polen en *R. mangle,* pero de corto alcance. Por tanto, es probable que la anemofilia en esta especie sea favorable únicamente entre arboles vecinos, pero es muy poco probable que el polen llegue a fragmentos de manglar alejados.

2.5 Bibliografía

Ackerman, J. (2000). Abiotic pollen and pollination: Ecological, functional, and evolutionary perspectives. *Plant Systematics and Evolution*. 222. 167-185. 10.1007/978-3-7091-6306-1_9.

Bai, W.N., Zeng, Y.F., Zhang, D.Y. 2007. Mating patterns and pollen dispersal in a hererodichogamous tree, *Juglans mandhurica* (Juglandaceae). *New Phytologist* 176:699-707.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & S. Walker. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

Breheny, P. & W. Burchett. (2017). Visualization of Regression Models Using visreg. *The R Journal*, 9: 56-71.

Durban, M. (s.f.). Modelos lineales generalizados. Recuperado de: http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/durban/esp/web/GLM/curso_GLM.pdf

IDEAM (2021). Distribución espacio-temporal de vientos en superficie.

Kevan, P., Franco, F., Rong, H., Hisatomo, T., Ferguson, K., Pawlowski, A. (2006). A simple method for collecting airborne pollen. *Journal of Biological Education* - J BIOL EDUC. 40. 181-183. 10.1080/00219266.2006.9656042.

Nadia, T. d. L., & Machado, I. C. (2014). Wind pollination and propagule formation in Rhizophora mangle L.(Rhizophoraceae): resource or pollination limitation?. Anais da *Academia Brasileira de Ciências*, 86(1), 229-238.

Ngeve, M. N., Koedam, N., & Triest, L. (2020). Runaway fathers? Limited pollen dispersal and mating system in *Rhizophora racemosa* populations of a disturbed mangrove estuary. *Aquatic Botany*, 165, 103241.

Regal, P. (1982). Pollination by Wind and Animals: Ecology of Geographic Patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 13. 497-524.

R version 3.6.0 (2019-04-26) -- "Planting of a Tree" Copyright © 2019. *The R Fundation for Statical Computing Plafrorm*: x86_64-w64-mingw31/x64(64-bit).

Slavov, G.T., Leonardi, S., Burczyk, J., Adams, W.T., Strauss, S.H., Difazio, S.P. 2009. Extensive pollen flow in two ecologically contrasting populations of *Populus trichocarpa*. *Molecular Ecology* 18:357-373.

Whitehead D. R. (1969). Wind pollination in the angiosperms: evolutionary and environmental considerations. Evolution*; international journal of organic evolution*, 23(1), 28–35.

Capítulo 3: Dispersión del polen a través de insectos

3.1 Resumen

Los insectos se consideran un vector secundario en la dispersión de polen de *Rhizophora mangle*. Sin embargo, es poco lo que se conoce sobre su abundancia en las flores de *R. mangle* y su relación con el área de manglar, es por ello que en este trabajo se buscó estimar riqueza de especies y la abundancia de visitantes florales de *R. mangle* y analizar su relación con el área del manglar. Se realizaron 25 salidas de campo a parches de manglar de Chengue, Neguanje, Gaira, Cabo Tortuga, Manzanares y Córdoba, donde se encontraron que los 27 individuos recolectados (visitantes florales) son pertenecientes a tres órdenes, cinco familias y nueve especies de insectos, entre las que se destacan *Trigona nigerrima* (Apidae, Hymenoptera) y *Polybia occidentalis venezuelana* (Vespidae, Hymenoptera) con la mayor abundancia. Los datos arrojaron que el área de manglar influye positivamente en la abundancia de visitantes florales, lo que puede deberse a la cantidad de flores y la disponibilidad de alimento. La baja abundancia de visitantes florales en *R. mangle* indica que la entomofilia es un vector secundario en la dispersión de polen de esta especie. Se destaca también la importancia de la calidad de polinización que ofrecen los visitantes florales (insectos), ya que tocan directamente el estigma de la flor y pueden alcanzar largas distancias, favoreciendo de esta manera al entrecruzamiento de genes entre individuos de parches de manglar diferentes.

3.2 Metodología

3.2.1. Diseño experimental

Se llevaron a cabo 5 salidas de campo de un día de duración por cada sitio de muestreo en fragmentos de manglar ubicados en Chengue, Neguanje, Gaira, Cabo Tortuga, Manzanares y Córdoba en el horario de 7:00 am y 1:00 pm, y entre los meses de septiembre de 2020 y marzo de 2021. Durante cada salida se realizaron observaciones en 2 periodos de 10 minutos en, por lo menos, 2 individuos de *R. mangle* (20 minutos de observación cuando solo se encontraba un individuo). Los visitantes florales que llegaron a las flores y realizaron contacto directo con el estigma fueron contados como potenciales

polinizadores, se recolectaron con una red entomológica (jama) y se conservaron en viales con alcohol al 70%. Posteriormente, en laboratorio fueron identificados al mínimo nivel taxonómico posible con la colaboración de Carlos Sarmiento (Universidad Nacional), Augusto Montoya (Universidad de Antioquía) y Paula Montoya (Invemar). Para estimar el área de cobertura de manglar se usó la aplicación Google Maps & Earth (2021), se calculó el área de cobertura total de manglares en zonas de amortiguamiento de 1000 m de los sitios de muestreo, de acuerdo a las distancias media de alimentación de muchas especies de polinizadores (Kremen et al, 2004), se tomaron las coordenadas de cada lugar de muestreo y se trazó una circunferencia alrededor de ella, tomando como cobertura sólo los manglares que estaban dentro de la circunferencia.

3.2.2. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó en los programas Excel y R v.3.5.0. (R Development Core Team, 2019), paquete “lme4” (Bates et al., 2015) y paquete “visreg” (Breheny & Burchett (2017) mediante un modelo lineal generalizado (MLG) se escogió como variable respuesta la abundancia de visitantes florales (insectos), ajustada a una distribución de Poisson, ya que es una variable cuantitativa discreta (Durban, s.f.) y como variable explicativa el área de cobertura de manglar, con un nivel de significancia *p* de 0.05 y el valor de devianza explicada.

3.3 Resultados

En las flores de *R. mangle* se recolectaron en total 27 visitantes florales pertenecientes a 2 órdenes, 5 familias y 9 especies de insectos. El sitio con mayor riqueza de especies fue Chengue (3) mientras que Manzanares y Córdoba presentó la menor riqueza (1) (Figura 5).

A nivel de familia, Apidae fue la que presentó mayor número de individuos (15), seguida de Vespidae (6) y las tres restantes (Syrphidae, Halictidae y Sarcophagidae) con 2 individuos cada una. A nivel de especie, *Trigona nigerrima* (Apidae, Hymenoptera) presentó la mayor abundancia con un total de 14 individuos, seguida de *Polybia occidentalis venezuelana* (Vespidae, Hymenoptera) con 5, *Hybobathus cf. lineatus* con 2 (Syrphidae, Diptera), y las 6 especies restantes con 1 individuo cada una (Figura 6).

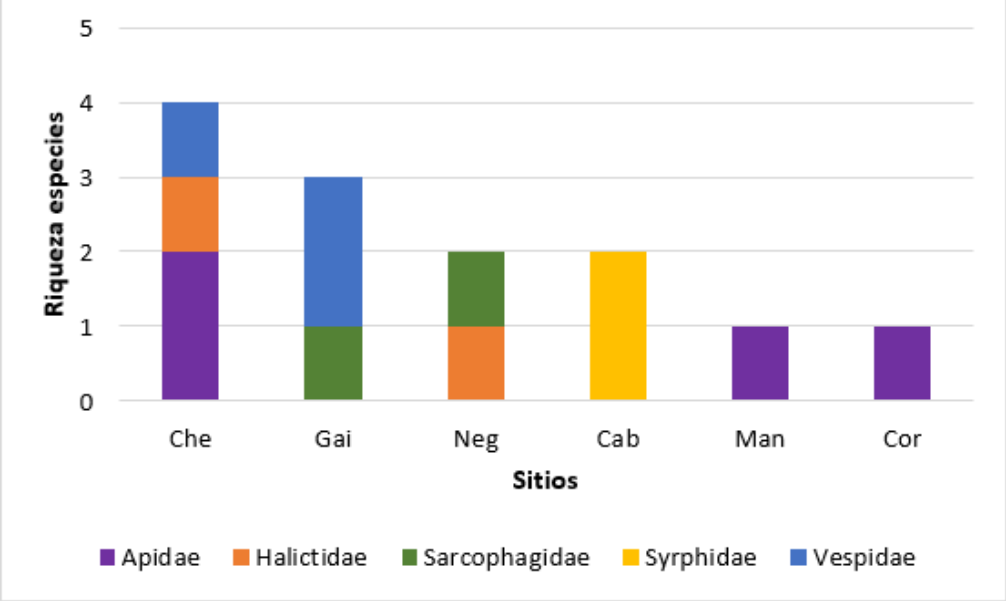

Figura 5. Riqueza de especies de visitantes florales (insectos) de *Rhizophora mangle* en los sitios de muestreo.

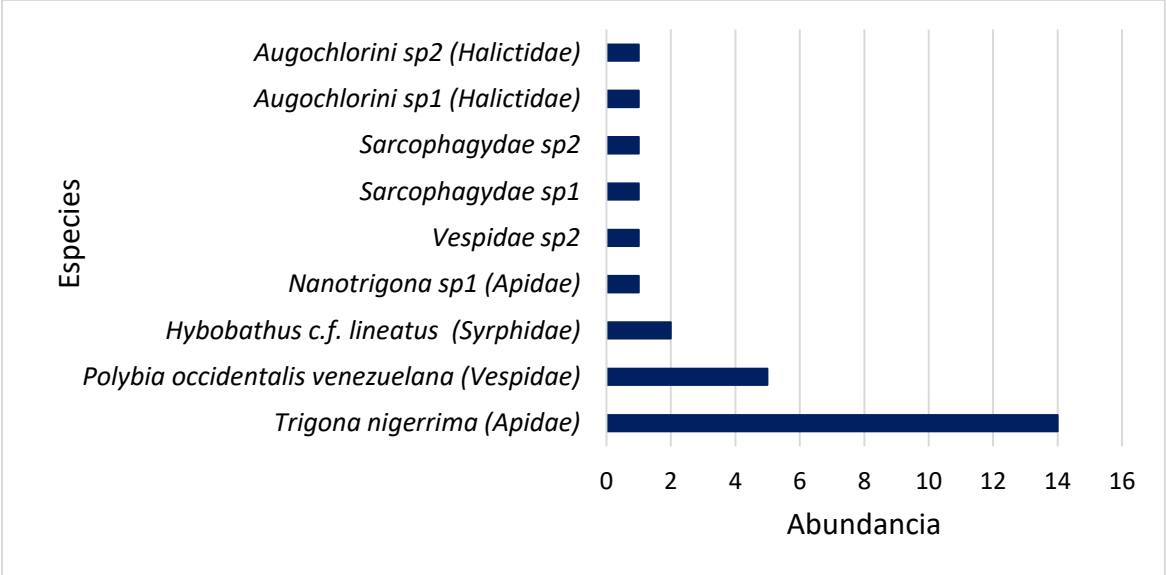

Figura 6. Especies y abundancia de visitantes florales (insectos) de *Rhizophora mangle.*

Tabla 2. Modelo lineal generalizado (MLG) para la abundancia de visitantes florales (insectos) de *Rhizophora mangle* en función del área de manglar.

	Coeficiente Estimado	Error estándar	Valor Z	Valor P
(Intercepto)	- 0.6511168	0.32388	-1.324	0.185556
Área de manglar	1.0981319	0.02733	3.425	0.000614 ***

Códigos de significancia: '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

El modelo realizado (Tabla 2) indicó que el área del manglar influyó de manera muy significativa en la abundancia de visitantes florales (insectos) que llegan a *R. mangle.* Así mismo, la Figura 7 muestra que la abundancia de insectos aumentó con el área de manglar, el Intervalo de Confianza (IC) del valor esperado (área sombreada gris) estima la presencia de 4 individuos aprox. en 15 ha de manglar, siendo la devianza explicada del 76%*,* es decir, que la dispersión de los datos es baja. Por lo tanto, en áreas de manglar grandes se presentó mayor número de individuos que en áreas de manglar pequeñas.

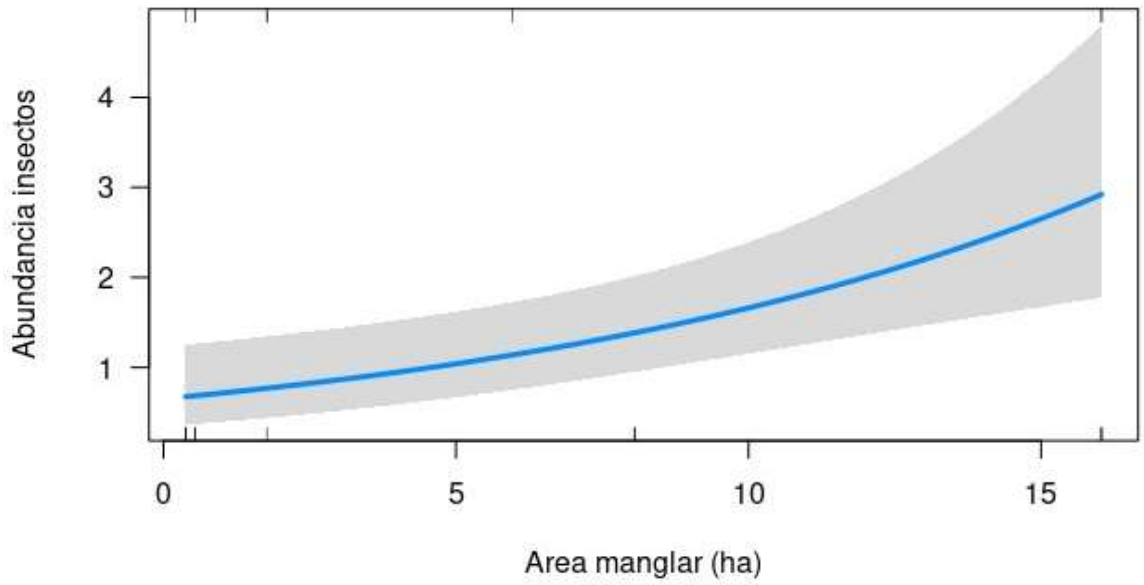

Figura 7. Abundancia de visitantes florales (insectos) de *Rhizophora mangle* con respecto al área de cobertura de manglar.

3.4 Discusión

En relación a la riqueza de especies, se presentaron 9 especies de insectos, mayor al número reportado por Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda, (2012), con un total de 6 especies para *R. mangle*. Sin embargo, ninguna de las especies coincide con las reportadas en este trabajo, pero si coinciden dos familias; Apidae y Syrphidae, siendo esta última considerada como polinizadora de *R. mangle* por Lemus-Jiménez & Ramírez (2003). En este trabajo también se observó la presencia de individuos pertenecientes a la familia Sarcophagidae y del género *Trigona*, lo que concuerda con Nadia y Machado (2014). Dada la información documentada sobre la variedad de especies polinizadoras de los mangles, Raju-Aluri (2019) argumenta que ninguna de estas plantas depende en gran medida de un polinizador especifico, ya que son generalistas, lo que puede deberse a su amplia distribución. En *Avicennia germinans* por ejemplo, la producción de frutos depende de diversidad de polinizadores (Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda, 2012). Es decir, que conocer la riqueza de especies y abundancia de visitantes florales en *R. mangle* sirve de base para estudiar la producción de frutos.

Po otro lado, la abundancia de visitantes florales (insectos), fue relativamente baja (27 individuos/13,928h de muestreo), tal y como lo han registrado otros trabajos previamente realizados (Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda, 2012; Nadia & Machado 2014). Estos resultados parecen indicar que la polinización por insectos en esta especie constituye un vector secundario de dispersión de polen. No obstante, los insectos son considerados importantes en la capacidad reproductiva de las especies de mangle, puesto que su polinización puede ser más efectiva que el viento ya que estos llegan directamente a las flores, se habla en este caso de la calidad de polinización. El viento, por el contrario, es un vector aleatorio; es decir, que puede transportar los granos de polen a cualquier dirección, no necesariamente a la fuente receptora, por lo que a mayores distancias hay mayor derroche de polen (Regal, 1977). Teniendo en cuenta que los manglares no tienen bancos de semillas permanentes (i.e. plantas vivíparas), y que los propágulos son frecuentemente depredados por insectos (Martínez et al., 2017) es importante que la polinización sea exitosa, ya que de esta manera aumenta la producción de propágalos que luego se convertirán en plántulas (Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda, 2012). La presencia de visitantes florales indica que *R. mangle* es atractiva para los insectos, ya sea por el néctar y polen que es apetecido en su mayoría por insectos de los órdenes Hymenoptera y Diptera

o por los ácaros presentes en las flores quienes podrían ser un recurso alimenticio. (Ortiz et al., 1996; Takahashi et al., 2001., Raju-Aluri, 2019).

La literatura considera a *Rhizophora mangle* como una especie ambofila porque utiliza dos vectores de dispersión de polen (viento e insectos), sin embargo, los resultados de este estudio demuestran que el viento es mucho menos eficiente que los insectos dispersando el polen, debido a que los insectos ofrecen una mayor calidad de polinización, ya que pueden recorrer distancias más largas que el viento y el polen adherido a su cuerpo llega directamente a la flor receptora, aumentando así la diversidad genética de la especie y promoviendo el entrecruzamiento de genes en individuos de fragmentos diferentes, (Lemus-Jiménez & Ramírez, 2003; Menezes et al., 1996; Proffitt et al., 2006). En ese sentido, la polinización cruzada es importante para los procesos de rehabilitación y restauración de *R. mangle* porque aumenta la producción de frutos. En contraste a esto, Culley et al., (2002) menciona que la anemofilia podría favorecer la autofecundación si va acompañada de condiciones ambientales (vegetación densa, baja velocidad del viento) o morfológicas (baja densidad de flores femeninas) que afecten el alcance de dispersión del polen; también mencionan que varias especies de plantas entomófilas pueden autopolinizarse cuando las ramas son sacudidas por el viento y escasean los polinizadores. Así lo comprobaron Chakraborti et al., (2019) en un estudio donde midieron el porcentaje de fecundación de cuatro especies de mangle utilizando dos tratamientos; polinización por insectos y autopolinización, obteniendo un porcentaje de fecundación máximo del 43,2% en las plantas del segundo tratamiento.

El tamaño del bosque de manglar puede estar relacionado con su grado de perturbación. Generalmente, las áreas pequeñas representan bosques con alto grado de perturbación debido principalmente a factores antropogénicos (Hernández, 2006), mientras que las áreas grandes como la ubicada en la bahía de Chengue se encuentran conservadas. Así mismo, Kruess y Tscharntke, (2000), en su estudio sobre los insectos asociados a la arveja arbustiva *Vicia sepium* L. (Fabaceae) descubrieron que el área en las distintas parcelas de estudio determinaba la riqueza y abundancia de insectos, la cual disminuía a medida que se reducía el tamaño de la parcela, lo cual concuerda con nuestros resultados. La abundancia de visitantes florales también puede deberse al tamaño poblacional de *R. mangle* y a la disponibilidad de las flores (Molina y Cavieres, 2006).

3.5 Bibliografía

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & S. Walker. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.

Breheny, P. & W. Burchett. (2017). Visualization of Regression Models Using visreg. *The R Journal,* 9: 56-71.

Chakraborti, U., Bulganin, M. & K. Bhadra. (2019). Diversity and Ecological Role of Insect Flower Visitors in the Pollination of Mangroves from the Indian Sundarbans. *Current science*. 117. 1060-1070.

Culley, T., Weller, S., & Sakai, A. (2002). The evolution of wind pollination in angiosperms. *Trends in Ecology and Evolution*, 17, 361-369.

Durban, M. (s.f.). Modelos lineales generalizados. Recuperado de: http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/durban/esp/web/GLM/curso_GLM.pdf

Google Maps y Earth. (2021). Mapa del Caribe colombiano. Recuperado de: https://www.google.com/maps/@11.1361911,-74.1744693,49218m/data=!3m1!1e3?hl=es

Hernandez, H. (2016). Recuperación de un ecosistema perturbado en el cerro El Castillo del Bosque Protector Mindo Nambillo. *Siembra*. 3. 83-90.

Kremen, C., Williams, N.M., Bugg, R.L., Fay, J.P. and Thorp, R.W. (2004), The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters*, 7: 1109-1119.

Kruess, A., Tscharntke, T. (2000). Species richness and parasitism in a fragmented landscape: experiments and field studies with insects on *Vicia sepium*. *Oecologia* 122, 129–137.

Lemus-Jiménez, L. J., and Ramírez, N. (2003). Polinización y polinizadores en la vegetación de la planicie costera de Paraguaná, Estado Falcón, Venezuela. *Acta Cient Venez*, 54(97), 114.

Martínez, A., Chamorro, I., Pech, J., Alanís, J., & A. Basáñez. (2017). Propágulos de *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) barrenados por *Coccotrypes rhizophorae* (Coleoptera: Curculionidae) en el manglar de Tumilco, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, *65*(3), 1120-1128.

Menezes, M. P. M., Oliveira, D., & Mello, C. F. (1996). Pollination of red mangrove, *Rhizophora mangle*, in northern Brazil. In *VII International Symposium on Pollination* 437 (pp. 431-434).

Molina, M. & Cavieres, A. (2006). Effect of density and flower size on the reproductive success of *Nothoscordum graminum* (Alliaceae). *Gayana. Botánica*, *63*(1), 93-98.

Nadia, T. d. L., & Machado, I. C. (2014). Wind pollination and propagule formation in *Rhizophora mangle* L.(Rhizophoraceae): resource or pollination limitation?. Anais da *Academia Brasileira de Ciências*, 86(1), 229-238.

Ortiz, P., M. Arista y S. Talavera (1996). Producción de nectar y frecuencia de polinizadores en *Ceratonia siliqua* L. (Caelsalpinacea). *Anales jardin Botany*. Madrid 54:540-546.

Proffitt, C., E. Milbrandt., Y S. Travis. (2006). Red mangrove (*Rhizophora mangle*) reproduction and seedling colonization after hurricane Charley: comparisons of Charlotte Harbor and Tampa Bay. *Estuaries and Coasts* 29: 972–978.

Raju-Aluri, J. (2019). Status of pollination ecology studies on mangroves. 37. 199-223.

Regal, P. J. (1977). Ecology and evolution of flowering plant dominance. *Science* 196, 622–629.

R version 3.6.0 (2019-04-26) -- "Planting of a Tree" Copyright © 2019. *The R Fundation for Statical Computing Plafrorm*: x86_64-w64-mingw31/x64(64-bit).

Sánchez-Núñez, D. & J. Mancera-Pineda. (2012). Pollination and fruit set in the main neotropical mangrove species from the Southwestern Caribbean. *Aquatic Botany*, Vol. 103,11. Pag. 60-65, ISSN 0304-3770.

Takahashi, H., Takafuji, A., Takabayashi, J., S. Yano & T. Shimoda. (2001). Seasonal occurrence of specialist and generalist insect predators of spider mites and their response to volatiles from spider-mite-infested plants in Japanese pear orchards. *Exp Appl Acarol* 25, 393–402.

4. Capítulo: Dispersión de polen a través de ácaros

4.1 Resumen

Los ácaros han colonizado numerosos ambientes, entre ellos, el suelo, la copa de los árboles, el tallo y las flores de las plantas, incluso el mar. Se ha documentado que gran cantidad de ácaros habitan las flores de *R. mangle.* Sin embargo, es poco lo que se sabe de ellos, es por esto que en este trabajo se planteó el objetivo de estimar la densidad de ácaros que habitan las flores de *R. mangle* teniendo en cuenta el área de manglar y analizar su potencial polinizador. Se recolectaron flores en 6 parches de manglar ubicados en Chengue, Neguanje, Gaira, Manzanares, Córdoba y la Ciénaga Grande de Santa Marta. En 15 de 36 flores revisadas se encontraron entre 1 y 346 ($\bar{x}$=50) ácaros/flor, más de la mitad de ellos (53%) con granos de polen adheridos al cuerpo, lo que indica su posible participación como polinizadores. Además, se demostró que el área de manglar influye positivamente en la densidad de ácaros, también se encontraron indicios de que los ácaros podrían dispersar polen de *R. mangle* entre diferentes árboles al ser arrastrados por el agua cuando caen de las flores marchitas o al ser arrastrados por el viento. Aunque se requieren análisis más profundos para comprobar estas hipótesis, como la medición de la tasa de fecundación, esta investigación es la base para estudiar el papel de los ácaros en la polinización de esta especie.

4.2 Metodología

4.2.1. Diseño experimental

Se recolectaron 36 flores en los manglares de Chengue, Neguanje, Gaira, Manzanares, Córdoba y la Ciénaga Grande de Santa Marta. Las flores recolectadas fueron conservadas en viales con alcohol al 70% y posteriormente revisadas bajo estereoscopio, para separar y cuantificar los ácaros presentes en ellas. Se tomó una muestra del total (75 ácaros), los cuales se montaron en láminas portaobjetos con el fin de cuantificar bajo el microscopio los granos de polen adheridos a su cuerpo y evaluar su potencial en la dispersión de polen. Adicionalmente, se revisó la presencia de ácaros en los megaestigmas para determinar si los ácaros también eran transportados por el viento (sección 2.1). Se comparó la cantidad

de granos de polen adheridos a los ácaros que fueron conservados en alcohol y los ácaros encontrados en los megaestigmas con el fin de evaluar el potencial de dispersión de polen a través de un medio líquido (alcohol) y de un medio seco (viento), puesto que existen evidencias de que los ácaros pueden ser transportados por el agua y el viento, esto los ayudaría a llegar a parches alejados del árbol de origen. Para estimar el área de cobertura de manglar se usó la aplicación Google Maps & Earth (2021), se tomaron las coordenadas de cada lugar de muestreo y se trazó una circunferencia de 1km^2 alrededor de ella, tomando como cobertura sólo los manglares que estaban dentro de la circunferencia.

4.2.2. Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante un modelo lineal generalizado (MLG), tomando como variables respuesta la abundancia de ácaros en las flores y la cantidad de granos de polen en los ácaros, las cuales se ajustaron a una distribución de Poisson, por ser una variable cuantitativa discreta (Durban, s.f.) y como variable explicativa se tomó en cuenta el área de cobertura de manglar y los tratamientos (alcohol y seco). El nivel de significancia *p* fue de 0.05 y el valor de devianza explicada. Todos los procedimientos de análisis de datos se realizaron en el programa Excel y R v.3.5.0. (R Development Core Team, 2019), paquete "lme4" (Bates et al., 2015) y paquete "visreg" (Breheny & Burchett (2017).

4.3 Resultados

De las 36 flores revisadas se encontró que sólo 15 de ellas pertenecientes a Chengue, Neguanje y la CGSM contenían entre 1 y 346 ($\bar{x}$=50) ácaros/flor. Los ácaros eran de color blanco, con idiosoma ovalado o globoso, 8 patas de 7 segmentos cada una y almohadillas ambulacrales, con pelos en patas y pedipalpos y de un tamaño promedio de 0,30 mm largo x 0,20 mm ancho. La mayoría de ellos se encontraban habitando en los pétalos de las flores jóvenes enredados en los tricomas, anteras, en el estigma y unos pocos en los sépalos. También se observaron larvas y huevos de color blanco de forma ovalada, los cuales estaban dispuestos en filas de hasta 98 huevos por pétalo (Figura 8).

Figura 8. Ácaros habitantes de las flores de *Rhizophora mangle*. **(1)** Huevos (flecha) y ácaros adultos enredados en los tricomas de los pétalos la flor; **(2a)** larva con 3 pares de patas; (**2b)** ácaro adulto, con pedipalpos más largos que los quelíceros; **(3)** ácaro adulto con pedipalpos del mismo tamaño de los quelíceros, idiosoma globoso; **(4)** ácaro adulto pedipalpos más largos que los quelíceros, idiosoma ovalado; **(5)** ácaro adulto, último par de patas más largas, idiosoma ovalado.

Tabla 3. Modelo lineal generalizado (MLG) para la densidad de ácaros en las flores de *Rhizophora mangle* en función del área de manglar.

	Coeficiente Estimado	**Error estándar**	**Valor Z**	**Valor P**
(Intercepto)	7.065984	0.061586	31.75	<2e-16 ***
Área de manglar	1.098866	0.001948	48.40	<2e-16 ***

Códigos de significancia: '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Los resultados del modelo (Tabla 3) indican que el área del manglar influyó de manera muy significativa en la abundancia de ácaros que habitan *R. mangle.* Así mismo la figura 9 muestra que el número de ácaros por flor (densidad) aumentó conforme aumentó el área

de cobertura de manglar. El Intervalo de Confianza (IC) del modelo estima que pueden encontrarse 250 ácaros/flor en 40 ha de manglar. Siendo la devianza explicada del 98%. Por lo tanto, en áreas grandes de manglar hay mayor densidad de ácaros y menor densidad en áreas de manglar pequeñas.

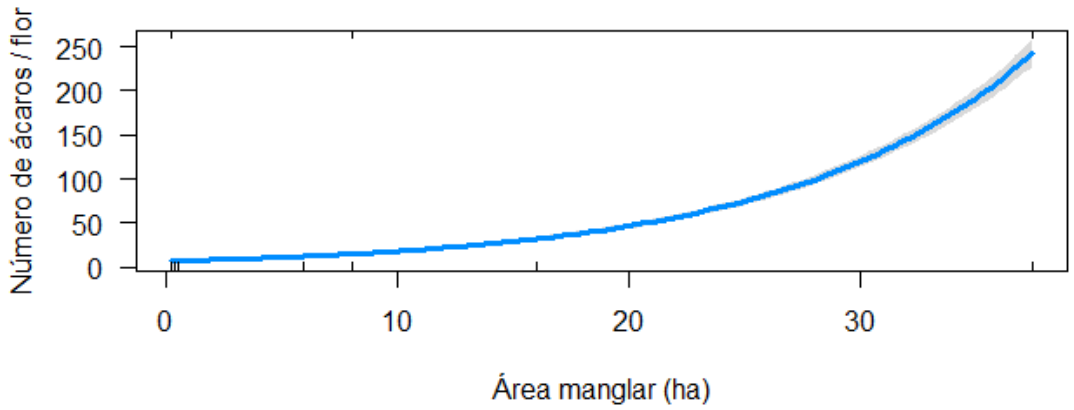

Figura 9. Densidad de ácaros en las flores de *Rhizophora mangle* con respecto al área de cobertura de manglar.

De los 75 ácaros observados al microscopio, 35 de ellos presentaron granos de polen adheridos al cuerpo con un máximo de 22 granos/ácaro (Figura 10). Las partes del cuerpo del ácaro donde se encontraban adheridos la mayoría de los granos de polen fueron la base de las patas (coxa), en medio del par de patas I y II, en los pedipalpos y en menor proporción en el dorso. Además, se encontraron ácaros en las láminas recolectoras de polen (megaestigmas) en 10/40 réplicas realizadas, lo que indica que los ácaros también fueron transportados por el viento a una velocidad de 4,16m/s.

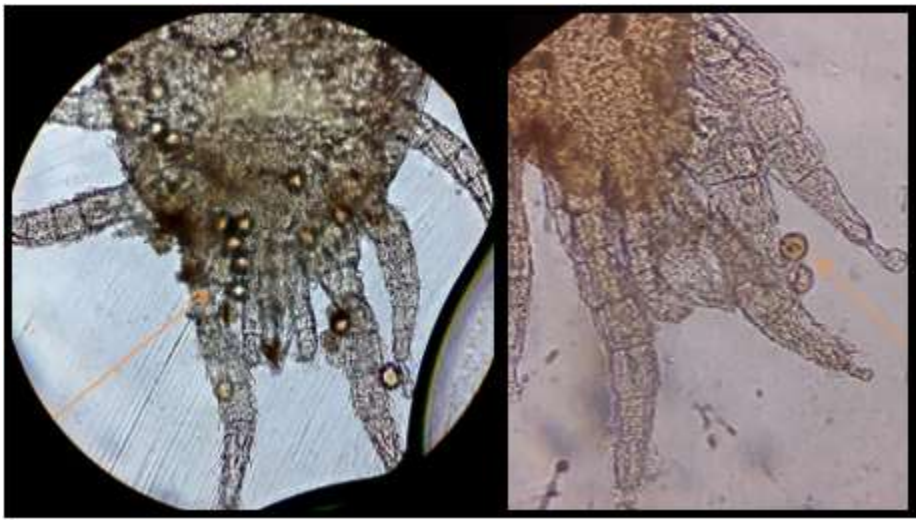

Figura 10. Granos de polen (flechas) adheridos a los ácaros habitantes de las flores de *Rhizophora mangle.*

Tabla 4. Modelo lineal generalizado (MLG) para la cantidad de granos de polen adheridos al cuerpo de los ácaros de las flores de *Rhizophora mangle* sumergidos en alcohol (liquido) y los ácaros transportados por el viendo (seco).

	Coeficiente Estimado	**Error estándar**	**Valor Z**	**Valor P**
(Intercepto)	6.4500000	0.08804	21.172	< 2e-16 ***
Tratamiento seco (viento)	-0.5426357	0.19059	-3.208	0.00134 **

Códigos de significancia: '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

El modelo lineal (Tabla 4) arrojó que existen diferencias significativas entre la cantidad de granos de polen adheridos al cuerpo de los ácaros en cada uno de los tratamientos, sin embargo, el tratamiento liquido (alcohol), presenta mayor diferencia significativa que el tratamiento seco (viento). Esto se puede entender mejor observando la Figura 11, donde la caja que representa los ácaros sumergidos en alcohol tenian mayor cantidad de polen en su cuerpo que los acáros que fueron trasportados por el viento. La devianza explicada para este modelo fue del 93%.

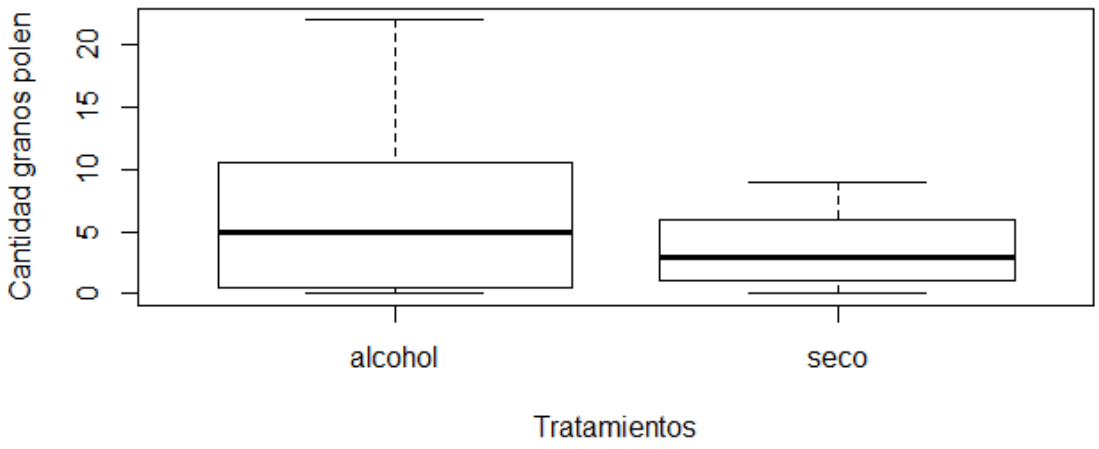

Figura 11. Comparación de la cantidad de granos de polen adheridos a los ácaros habitantes de *Rhizophora mangle* conservados en alcohol (liquido) y los que fueron transportados por el viento (seco).

4.4. Discusión

En las flores de *R. mangle* se observó una gran abundancia de ácaros en diferentes estadios (huevo, larva y adulto), lo cual indica que ellos transcurren su ciclo de vida dentro de las flores de *R. mangle*. Tanto huevos como ácaros adultos se encontraron en pétalos, sépalos y anteras de flores masculinas frescas, lo cual concuerda con las observaciones realizadas por Seeman (1996) en *Bruguiera gymnorhiza* donde se encontraron ácaros del género *Hattena* que habitaban en flores jóvenes y después de 3 días se trasladaban a otra flor cuando estas comenzaban a marchitarse.

La cantidad máxima de ácaros en las flores cuantificadas de *R. mangle* (346) es menor a la encontrada por Seeman & Walter (1995) en flores del mangle de río (*Aegiceras corniculatum,* Primulaceae*),* un máximo de 827 ácaros/flor. La diferencia entre las cantidades de ácaros puede deberse al número de flores revisadas, 36 flores en este trabajo frente a 30 inflorescencias revisadas por el autor mencionado. No obstante, la cantidad encontrada en este trabajo sigue siendo relativamente alta en comparación a otras especies; *Bruguiera gymnorhiza* con 280 ácaros/flor (Seeman, 1996) y *Hamelia patens* (Rubiaceae) con 152 ácaros/flor (Colwell, 1995).

El aumento de la abundancia de ácaros con respecto al área de manglar puede deberse a que en parches más grandes se encuentra una mayor cantidad de flores, y también una mayor abundancia de insectos polinizadores que podrían traer los ácaros adheridos a sus

cuerpos (Faraji y Cornejo, 2006; Gravatt s.f.). Así mismo, también podrían existir otros factores relacionados con el mayor grado de perturbación de los manglares más pequeños; como la contaminación; y factores naturales, por ejemplo, la longevidad de las flores y la cantidad de néctar que éstas producen, puesto que las flores recién abiertas tienden a tener mayor cantidad de néctar que atrae a los ácaros, pero a medida que pasan los días va disminuyendo y con ello también disminuyen los ácaros (Lara & Ornelas, 2001). En el caso de *R. mangle*, sin embargo, la mayor cantidad de ácaros en las flores jóvenes parece explicarse principalmente por la presencia de polen durante la fase inicial masculina de la flor (Nadia y Machado 2014). La abundancia de ácaros también podría ser mayor durante la época lluviosa cuando se presentan los picos de floración de *R. mangle* (Sánchez-Núñez & Mancera-Pineda 2011; Lara & Ornelas, 2002). Aunque en este trabajo no se tuvieron en cuenta las temporadas (seca o lluviosa), en campo se observó que las flores recolectadas en los meses de lluvias tenían mayor abundancia de ácaros.

Estudios previamente realizados demuestran que existen varias especies de ácaros (*Neocypholaelaps novaehollandiae, Blattisocius tarsalis, Proctolaelaps pygmaeus* y *Hattena paplona)* que habitan las flores de diferentes especies vegetales, se alimentan del polen y el néctar que estas producen (Gravatt, s.f.; Damrow, 1979), Sin embargo, en ninguno de estos trabajos se discute su potencial función como polinizadores. Los resultados de esta investigación serían entonces los primeros indicios sobre la posible participación de los ácaros en la polinización de *R. mangle,* teniendo en cuenta la cantidad de granos de polen adherido a su cuerpo. También se observó que la presencia de pelos en las patas y pedipalpos de los ácaros facilita el agarre del grano de polen, lo que podría explicar la cantidad de granos encontrados en esas zonas, considerando esto, los granos de polen podrían quedar depositados cuando los ácaros caminan sobre sobre el estigma de la flor (obs. pers.), dando paso así a la fecundación. A pesar de que Nadia y Machado (2014) encontraron que las flores son protándricas (i.e. órganos masculinos se desarrollan antes que los femeninos) y que los ácaros se presentan durante la fase masculina de la flor, en este trabajo observamos que los estigmas entran en fase receptiva antes de terminar la fase masculina de la flor y que algunos ácaros se encontraban también durante la fase femenina.

Gravatt, (s.f); Damrow (1979) mencionan que los ácaros se trasladan de una flor a otra caminando por las ramas o utilizando insectos, aves y mamíferos como medio de transporte. No obstante, para el caso de *R. mangle* también es posible que los ácaros se trasladen por el mar al caer junto con las anteras y pétalos senescentes de las flores. Esta

hipótesis se podría sustentar en el hecho de que existen varias especies de ácaros que habitan en abundancia en el mar (Procheş & Marshall, 2001). Así mismo, se encontraron granos de polen en ácaros que habían sido lavados con alcohol, lo cual indica que el polen podría quedar adherido al cuerpo de los ácaros, aun después de permanecer por algún tiempo flotando en el mar.

Por otra parte, también se encontraron ácaros en los megaestigmas durante el experimento de dispersión de polen por viento, demostrando que los ácaros también podrían transportarse por este medio. Existen algunos trabajos que reportan el transporte de otras especies de ácaros no florívoros a través del viento (Lehmitz et al., 2011; Karasawa et al., 2005), en los que se demuestra que la distancia de dispersión de los ácaros puede alcanzar los 4 m.

La menor cantidad de granos de polen en los ácaros transportados por el viento que se encontraron en los megaestigmas (tratamiento seco, Figura 11), puede deberse a que el tamaño muestral fue muy pequeño (n=10) y menor al de los ácaros conservados en alcohol (n=20). No obstante, se pudo comprobar que estos ácaros también llevan adheridos a sus cuerpos algunos granos de polen que podría llegar a otras flores del mismo árbol o árboles vecinos o que pueden promover la entomofilia sirviendo de alimento atractivo para los insectos (Raju-Aluri, 2019).

4.5 Bibliografía

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & S. Walker. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

Breheny, P. & W. Burchett. (2017). Visualization of Regression Models Using visreg. *The R Journal,* 9: 56-71.

Cowell, R. (1995). Effects of nectar consumption by the Hummingbird flower mite *Proctolaelaps kirmsei* by nectar availability in *Hamelia patens*. *Biotropica* volume 27, Issuc 2, 206-217

Damrow, R. (1979). Ascid and ameroseiid mites phoretic on australian mammals and birds. Rec. West. Aust. Mus., 1979,8 (1)

Durban, M. (s.f.). Modelos lineales generalizados. Recuperado de: http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/durban/esp/web/GLM/curso_GLM.pdf

Faraji, F. & Cornejo, X. (2006). A new *Hattena Domrow* (Acari: Ameroseiidae) from Ecuadorian mangroves and a new generic record for South America. *International Journal of Acarology* - INT J ACAROL. 32. 287-291.

Gravatt, D. (s.f). A note on pollen mites found on bellbirds. Departamento de Zoología, Universidad de Auckland.

Karasawa, S., Gotoh, K., Sasaki, T., Hijii, N., 2005. Wind-based dispersal of oribatid mites (Acari: Oribatida) in a subtropical forest in Japan. J. *Acarol. Soc.* Jpn. 14, 117–122.

Lara, C., and Ornelas, J.F. 2001. Nectar “theft” by hummingbirdflower mites and its consequences for seed set in Moussoniadeppeana. *Funct. Ecol.*15: 78–84.

Lara, C. and Ornelas, J. (2002). Flower mites and nectar production in six hummingbird-pollinated plants with contrasting flower longevities. *Canadian Journal of Botany*. 80. 1216-1229. 10.1139/B02-109.

Lehmitz, R., Russell, D., Hohberg, K. Christian, A. and W. Xylander. (2011). Wind dispersal of oribatid mites as a mode of migration, *Pedobiologia*, Vol 54, Issue 3, Pag. 201-207, ISSN 0031-4056.

Nadia, T. d. L., & Machado, I. C. (2014). Wind pollination and propagule formation in *Rhizophora mangle* L.(Rhizophoraceae): resource or pollination limitation?. Anais da *Academia Brasileira de Ciências*, 86(1), 229-238.

Procheş, Ş. and Marshall, D.J. (2001). Global distribution patterns of non-halacarid marine intertidal mites: implications for their origins in marine habitats. *Journal of Biogeography.* 28: 47-58.

Raju-Aluri, J. (2019). Status of pollination ecology studies on mangroves. 37. 199-223.

R version 3.6.0 (2019-04-26) -- "Planting of a Tree" Copyright © 2019. The R Fundation for Statical Computing Plafrorm: x86_64-w64-mingw31/x64(64-bit).

Sánchez-Núñez, D. & J. Mancera-Pineda. (2011). Flowering patterns in three neotropical mangrove species: Evidence from a Caribbean island. *Aquatic Botany*, Vol 94, Issue 4, Pag.177-182, ISSN 0304-3770.

Seeman, O. and Walter, D. (1995), Life History of Afrocypholaelaps africana (Evans) (Acari: Ameroseiidae), a Mite Inhabiting Mangrove Flowers and Phoretic on Honeybees. *Australian Journal of Entomology*, 34: 45-50.

Seeman, O. (1996) Flower Mites and Phoresy: the Biology of Hattena Panopla Domrow and Hattena Cometis Domrow (Acari:Mesostigmata:Ameroseiidae). Australian Journal of Zoology 44, 193-203.

5. Conclusiones

El alcance de dispersión de polen de *R. mangle* por el viento es relativamente corto (24cm) a pesar de que aumenta con la velocidad. Por tanto, se considera al viento como un vector de corto alcance. Sin embargo, para tener mayor evidencia, lo que se pude hacer en un futuro es realizar el mismo experimento agregando mayores distancias y otros rangos de velocidad del viento.

Por otra parte, aunque la abundancia de especies de visitantes florales en *R. mangle* en general fue baja, se demostró que la abundancia aumenta con el área de cobertura del manglar, así como también aumenta la abundancia de ácaros, lo que puede deberse a la cantidad de flores presentes en cada individuo. Claro que, para comprobar esta hipótesis faltaría cuantificar también las flores presentes por área de manglar y relacionar esto con la abundancia de visitantes florales y de ácaros.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante señalar que la disminución poblacional de *R. mangle* afecta la llegada de insectos y de ácaros, por lo que se deben implementar planes de restauración que consideren la polinización como un factor fundamental.

Por último, se resaltan los indicios que evidencian la posible participación de los ácaros en la polinización de *R. mangle,* teniendo en cuenta que se encontraron granos de polen adheridos a su cuerpo, así como también se encontraron evidencias de que podrían ser transportados por el viento o por el mar llevando consigo granos de polen. Adicional a esto, para comprobar que efectivamente los ácaros son polinizadores de esta especie, se podría analizar la tasa de fecundación y producción de frutos de *R. mangle* en individuos que estén expuestos solo a la presencia de ácaros y aislados de los otros vectores de dispersión de polen (viento e insectos).

A. Anexo: Abreviaturas

Abreviatura	Significado
(°C)	Grados centígrados
(et al.)	Colaboradores
(ha)	Hectárea
(i.e)	Es decir
(m)	Metro
(cm)	Centímetro
(mm)	Milímetro
(m/s)	Metro por segundo
(obs. pers)	Observación personal
(*R. mangle*)	*Rhizophora mangle*
(s.f.)	Sin fecha

B. Anexo: Glosario

Almohadilla ambulacral: Terminación con forma de ventosa de la patas de algunos ácaros. (Pág. 26)

Anemofilia: Tipo de polinización que se lleva a cabo por el viento. (Pág. 15)

Antera: Parte terminal del estambre de una flor, donde se forman los granos de polen.

(Pág. 11)

Entomofilia: Tipo de polinización que se lleva a cabo por insectos. (Pág. 17)

Estigma: Parte de la flor que recibe el polen durante la polinización. (Pág. 17)

Entrecruzamiento: Intercambio de un segmento de ADN entre los dos cromosomas homólogos durante la meiosis. (Pág. 7)

Idiosoma: Cuerpo de los ácaros. (Pág. 26)

Pedipalpos: Estructura ubicada en la parte frontal de los ácaros, junto a los quelíceros, cumplen una función generalmente sensorial. (Pág. 26)

Quelíceros: Apéndice de los ácaros normalmente terminado en pinzas compuesto por un digito dorsal fijo y uno ventral móvil, ubicado en la parte frontal. (Pág. 27)

Tricomas: Pelos muy finos que crecen en algunas estructuras de las plantas, (por ejemplo; en los pétalos de las flores de *Rhizophora mangle*). (Pág. 26)