



Evaluación de la germinación y supervivencia de *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* en suelos con altos niveles de residuos sólidos, en Bahía Turbo y Bahía el Uno, Golfo de Urabá, Caribe colombiano

Marco Andrés Boto Ladeux

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ecológico de Zonas Costeras

Asesores:

Dr. José Marín Riascos Vallejos

BSc. Levy Donovan Obonaga Gómez

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Ecología de Zonas Costeras
Turbo, Antioquia, Colombia

2024

Evaluación de la germinación y supervivencia de *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*

Cita	(Boto Marco, 2024)
Referencia	Boto Marco A. L. (2024). <i>Evaluación de la germinación y supervivencia de Laguncularia racemosa y Avicennia germinans en suelos con altos niveles de residuos sólidos, en Bahía Turbo y Bahía el Uno, Golfo de Urabá, Caribe colombiano</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Biblioteca Sede Ciencias del Mar (Turbo)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mis progenitores Concepción Ladeux y Marco Tulio Boto, quienes considero el verdadero símbolo de ser padres. Por tal razón, los admiro y me reflejo en ellos, además de deberles la vida y la persona quien soy. A mi esposa Beatriz Benítez por estar siempre presente y brindarme su compañía y amor. A mis hermanos Katherine Boto y Daniel Boto, quienes me han enseñado los valores de la familia

Agradecimientos

Expreso agradecimiento a mi asesor José M. Riascos y co-asesor Levy Obonaga por sus conocimientos y asesorías para este escrito.

A todos los profesores que me brindaron su experiencia y conocimiento en todos estos años en la Sede Ciencias del Mar.

A mis compañeros de pregrado que fueron de gran apoyo moral y académico en toda la carrera especialmente a Jhostin Ramos, María José Pacheco y Javier Vanegas.

Tabla de contenido

1	Resumen	8
2	Abstract.....	9
3	Introducción	10
4	Objetivos.....	12
4.1	Objetivo general.....	12
4.2	Objetivos específicos	12
5	Pregunta de investigación	13
6	Hipótesis	13
7	Metodología	14
7.1	Área de Estudio.....	14
7.2	Trabajo de campo.....	15
7.3	Análisis de datos	17
8	Resultados.....	18
8.1	Germinación	18
8.1.1	Mortalidad.....	24
8.2	Tamaño y peso de las plántulas	30
8.2.1	Longitud de la plántula y la raíz.....	30
8.2.2	Peso de la plántula y la raíz	32
9	Discusión	35
10	Conclusión.....	38
11	Recomendaciones	39
12	Referencias	40

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados de regresión logística para predecir la probabilidad de germinación de plántulas de manglar 21

Tabla 2. Resultados de regresión logística para predecir la mortalidad de plántulas de manglar. 26

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio suroccidente del Caribe colombiano. Ubicación de los dos sitios de estudio en el Distrito Turbo: Bahía el Uno y Bahía Turbo (Pescador). Mapa creado con QGIS de código abierto y gratuito.	15
Figura 2. Diseño de muestreo, con la distribución de las parcelas en el área de transición entre <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Avicennia germinans</i>	16
Figura 3. Número y periodo de germinación de <i>L. racemosa</i> y <i>A. germinans</i> durante ocho quincenas en Pescador (A) y Bahía el Uno (B).....	19
Figura 4. Porcentaje de germinación Pescador (A) y Bahía el Uno (B).....	20
Figura 5. Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Sitios en germinación.....	22
Figura 6. Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Tratamiento en germinación.	23
Figura 7. Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Especie en germinación.....	24
Figura 8. Porcentaje de mortalidad Pescador (A) y Bahía el Uno (B).	25
Figura 9. Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Sitio en mortalidad.	27
Figura 10. Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Residuos en mortalidad.	28
Figura 11. Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Especie en mortalidad.	29
Figura 12. Longitud parte superior de la plántula, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).....	31
Figura 13. Longitud de raíz, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).	32
Figura 14. Peso parte superior de la plántula, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).....	33
Figura 15. Peso de raíz, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).	34
Figura 16. Forma radicular de una plántula de <i>L. racemosa</i> en el Pescador (A) Fasciculada y Bahía el Uno (B) Pivotalante	37

Siglas, acrónimos y abreviaturas

<i>L. racemosa</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>
<i>A. germinans</i>	<i>Avicennia germinans</i>
R	Residuos
NR	No residuos

1 Resumen

Los manglares son árboles o arbustos que habitan en la transición tierra-mar, son ecosistemas altamente resilientes frente a las presiones causadas por el cambio climático. Sin embargo, la presencia, la acumulación y la degradación de la basura marina generan efectos moderados, severos y críticos en el manglar. Por otro lado, se ha evidenciado que algunas especies son capaces de tolerar la presencia de residuos sólidos y las transformaciones antrópicas como *L. racemosa*. No obstante, no está claro cómo la presencia de residuos sólidos afecta la germinación, reclutamiento o crecimiento de estas especies de manglar. Esta investigación se realizó en los manglares de Bahía el Uno y Bahía Turbo (Pescador) del Golfo de Urabá ubicado en el Caribe colombiano. Se colectaron 100 embriones de *L. racemosa* y *A. germinans* en distintas zonas de los dos sitios de muestreo. En cada sitio de muestreo se colocaron, en la zona de transición que presentan estas dos especies, 10 parcelas de 1 x 1 m. En cada parcela, 10 embriones de cada especie fueron seleccionados al azar y sembradas, cinco de estas parcelas tuvieron presencia de residuos sólidos (R), parcelas con Tratamiento, y cinco sin residuos sólidos (NR). Pasado cuatro meses, todas las plántulas se extrajeron desde la raíz. Este trabajo demostró que independientemente del sitio y la cantidad de residuos sólidos, la capacidad de germinación de *L. racemosa* es mayor que la de *A. germinans*, mientras la probabilidad de sobrevivencia durante la fase temprana de vida también fue mayor en *L. racemosa* y esta fue mayor en los sitios con residuos sólidos. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar y abordar los impactos antrópicos, como la acumulación de residuos sólidos, en la conservación y gestión de los ecosistemas de manglares, especialmente en áreas con alta presión humana.

Palabras clave: transformaciones antrópicas, manglares, residuos sólidos, germinación, plántulas.

2 Abstract

Mangroves are trees or shrubs that inhabit the land-sea transition, forming ecosystems that are highly resilient to pressures caused by climate change. However, the presence, accumulation, and degradation of marine debris generate moderate, severe, and critical effects on mangroves. On the other hand, it has been shown that some species are capable of tolerating the presence of solid waste and anthropogenic transformations, such as *L. racemosa*. Nevertheless, it is not clear how the presence of solid waste affects the germination, recruitment, or growth of these mangrove species. This research was conducted in the mangroves of Bahía el Uno and Bahía Turbo (Pescador) in the Gulf of Urabá, located in the Colombian Caribbean. One hundred embryos of *L. racemosa* and *A. germinans* were collected in different areas of the two sampling sites. In each sampling site, ten 1 x 1 m plots were placed in the transition zone where these two species are present. In each plot, ten embryos of each species were randomly selected and planted; five of these plots had the presence of solid waste (R), Treatment plots, and five without solid waste (NR). After four months, all seedlings were extracted from the root. This study demonstrated that regardless of the site and the amount of solid waste, the germination capacity of *L. racemosa* is higher than that of *A. germinans*, while the probability of survival during the early life stage was also higher in *L. racemosa* and was greater in sites with solid waste. These findings highlight the importance of considering and addressing anthropogenic impacts, such as the accumulation of solid waste, in the conservation and management of mangrove ecosystems, especially in areas with high human pressure.

Keywords: anthropogenic transformations, mangroves, solid waste, germination, seedlings.

3 Introducción

Los manglares son árboles o arbustos que habitan en la transición tierra-mar, donde confluye el agua salada y agua dulce, conocidos como estuarios o humedales (Tomlinson, 1986). Estos ecosistemas son altamente resilientes frente a las presiones causadas por el cambio climático (Gilman et al., 2008), además, sus características morfológicas favorecen su capacidad para sobrevivir a las condiciones adversas intrínsecas de la zona intermareal (Acampora, 2016). Sin embargo, por sus múltiples servicios ecosistémicos son altamente explotados y coexisten cada vez más en ambientes antrópicos (Branoff, 2017), provocando grandes pérdidas de cobertura, siendo este un desafío para su conservación (Hamilton & Casey, 2016).

Los ecosistemas de manglar han sufrido cambios en su cobertura, siendo menos resistentes a los cambios ambientales (Hoyos et al., 2013; Santamaría-Damiánesto et al., 2015; Blanco-Libreros, 2016; Branoff, 2017). La presencia, acumulación y degradación de la basura marina genera efectos moderados, severos y críticos en el manglar (Hoyos et al., 2013; Ordóñez & Arenas, 2019; Manullang, 2020; Van et al., 2021). Los residuos sólidos urbanos se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo (Rivas, 2018), y cuando no son sacados de circulación para su reciclaje terminan acumulándose en vertederos, basureros o en el entorno natural como las playas, ríos e incluso en las viviendas de las comunidades que viven en estas zonas (Hanson, 2017). Por otro lado, este material queda retenido y enredado en las raíces de los árboles y plántulas durante largos periodos e impide su crecimiento (Ordóñez & Arenas, 2019; Manullang, 2020; Van et al., 2021).

Sin embargo, se ha evidenciado que algunas especies son capaces de tolerar la presencia de residuos sólidos y las transformaciones antrópicas. En particular, se ha reportado la rápida re-colonización de *Laguncularia racemosa* en ambientes altamente degradados como en Ciudad de Panamá (Benfield et al., 2005; Branoff, 2018), Puerto rico (Branoff & Martinuzzi, 2020) y el Golfo de Urabá (Suárez, 2013; Blanco-Libreros, 2016) donde esta especie alcanza una mayor dominancia en zonas previamente habitadas por *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*. Si bien la dominancia de *L. racemosa* en zonas urbanas o en sistemas antrópicos similares es un hecho establecido en la literatura, los mecanismos, los patrones espaciales y las consecuencias ambientales aún no son claros.

En el Caribe colombiano se han reportado trabajos sobre los impactos ambientales y las influencias de los residuos sólidos en los ecosistemas de manglar (Suárez, 2013; Hoyos et al., 2013; Blanco-Libreros, 2016; Ordóñez & Arenas, 2019). Blanco-Libreros (2016), reportaron un cambio en la cobertura y la evolución del estado actual, además, de identificar las especies que pueden ser favorecidas por estos cambios. Además, Suarez (2013), identifica como los cambios biológicos y físicos afectan el establecimiento y los estados tempranos de desarrollo de las especies de manglar (*L. racemosa*, *A. germinans* y *R. mangle*). Sin embargo, no está definido cómo la presencia de residuos sólidos afecta a la germinación, reclutamiento o crecimiento de estas especies. El Golfo de Urabá presenta una acelerada urbanización costera que aporta grandes cantidades de desechos marinos, la cual se considera una gran amenaza para los diferentes tipos de manglar (Blanco-Libreros, 2009). Esta área tiene una extensión aproximada de 1800 km, limita al norte con el mar Caribe, al sur con Bahía Colombia, al oriente con el municipio de Turbo (Antioquia), y al noroccidente con Cabo Tiburón (García-Valencia, 2007).

Los manglares de Bahía Turbo y Bahía El Uno, ubicados en el municipio de Turbo, son parte de un ecosistema costero único que alberga una gran diversidad biológica y desempeña roles ecológicos fundamentales (Padilla & Palacio, 2008). En el caso de Bahía Turbo, existe mayor presión antrópica debido a que está más urbanizado, por lo que se encuentra expuesto a mayor actividad humana y, por ende, se genera un impacto directo en el ecosistema. Esto podría reflejarse en niveles más altos de residuos sólidos urbanos, mayor contaminación y una mayor transformación de los ambientes naturales circundantes debido a la actividad humana concentrada en esta zona (Blanco-Libreros & Estrada-Urrea 2015). Por otro lado, Bahía El Uno tiene características más cercanas a un entorno natural o menos alterado, aunque esto depende de varios factores, incluyendo la gestión ambiental y el grado de urbanización en las cercanías. Bahía El Uno presenta una menor acumulación de residuos sólidos urbanos y menor alteración en contraste con Bahía Turbo (Blanco-Libreros, 2016).

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Aportar al conocimiento de los mecanismos que explican la dominancia de *L. racemosa* en sistemas de manglar con altos niveles de transformación antropogénica.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de germinación de los embriones de *L. racemosa* y *A. germinans*.
- Determinar la supervivencia de las plántulas *L. racemosa* y *A. germinans*.
- Definir si *L. racemosa* y *A. germinans* presentan diferentes tolerancias a los residuos sólidos.
- Definir si *L. racemosa* y *A. germinans* presentan diferencias significativas en el peso y longitud de la raíz, parte superior de las plántulas y entre sitios con residuos sólidos y sin residuos sólidos.

5 Pregunta de investigación

¿Es *Laguncularia racemosa* más tolerante que *Avicennia germinans* a la acumulación de residuos sólidos urbanos durante el proceso de germinación en manglares con diferentes niveles de urbanización?

6 Hipótesis

Durante el proceso de germinación, a mayor acumulación de residuos sólidos (El Uno – Turbo), *Laguncularia racemosa* mostrará mayor tasa de germinación y supervivencia que *Avicennia germinans*, reflejando una mayor tolerancia a estos materiales durante fases tempranas de su historia de vida.

7 Metodología

7.1 Área de Estudio

Esta investigación se realizó en dos sitios del municipio de Turbo (Bahía Turbo y Bahía El Uno), ubicado en la margen oriental del Golfo de Urabá, siendo este último la entrada más extensa de mar en la costa colombiana y el estuario de mayor tamaño en el Caribe colombiano (Blanco-Librero 2016). Exhibe una temperatura promedio de 28°C y una precipitación media anual de 2500 mm y las estaciones lluviosas y secas son moduladas por la Zona de Convergencia Inter-Tropical (García-Valencia, 2007). Las características oceanográficas y biomas del Golfo están determinadas principalmente por la descarga de agua dulce y sedimentos del río Atrato, siendo el río más grande del Caribe Sur (Escobar, 2011).

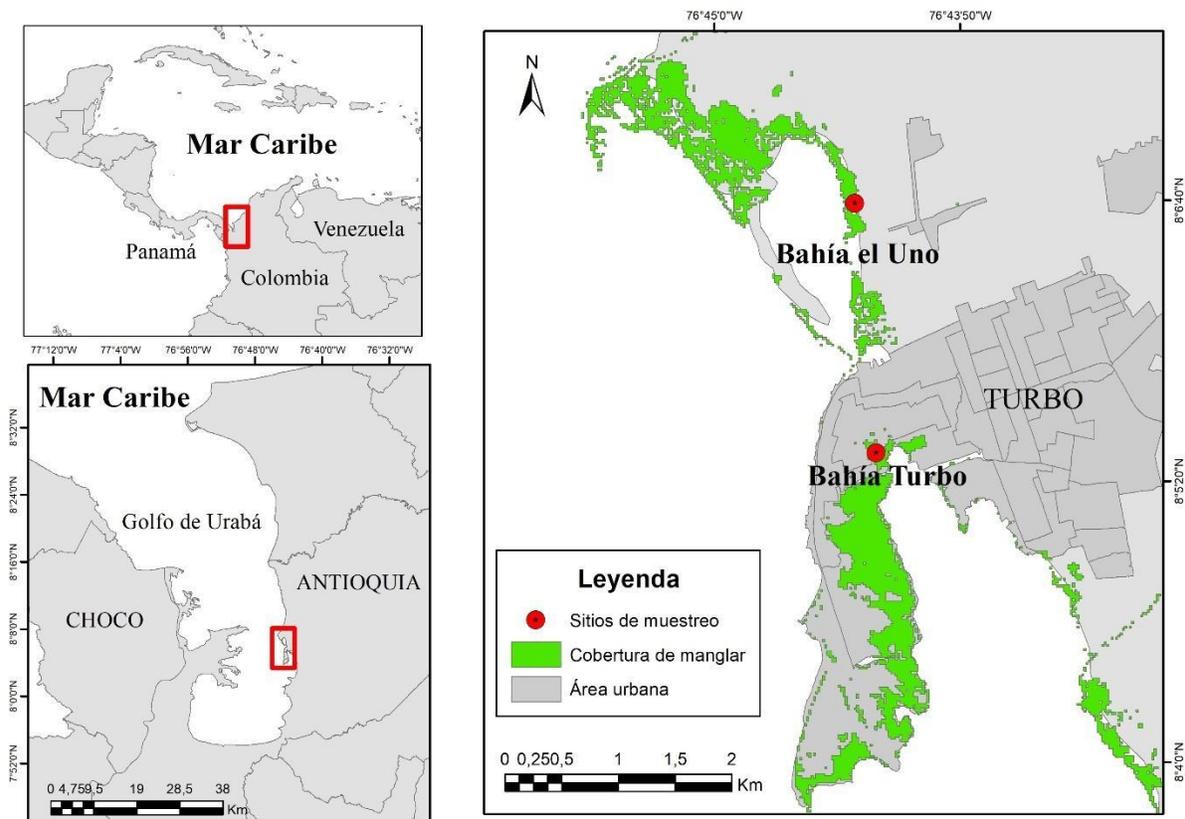
La composición de las especies de manglares en el Golfo de Urabá es similar a la del Gran Caribe, donde se encuentran *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Pelliciera rhizophorae* y *Conocarpus erectus* (Blanco-Libreros et al., 2015), siendo *R. mangle* la especie más dominante. La cobertura de manglar en Turbo tiene un área más pequeña en comparación con los bosques de manglar ubicados en el delta del río Atrato (margen occidental), que comprende el 78% de la extensión total de este ecosistema (Blanco-Libreros et al., 2015). Los primeros están influenciados principalmente por la actividad humana y se encuentran fragmentados por extensos cultivos de banano (Blanco-Libreros, 2009).

Para el estudio se tendrá en cuenta el margen sureste del Golfo de Urabá, el Distrito de Turbo (Figura 1), donde se presenta un mosaico de bosques de manglar con distintos grados de urbanización. Los puntos escogidos como bosques urbanizados son: Bahía Turbo (Pescador) y Bahía el Uno. Estos dos sitios de estudio del Distrito de Turbo han sido previamente estudiados y clasificados como bosques urbanos y rurales respectivamente (Blanco-Libreros & Estrada-Urrea 2015). Los manglares ubicados en la zona urbana de Turbo, principalmente en el Pescador, son afectados por la actividad humana en múltiples formas como la disposición de desechos sólidos, la deforestación acelerada y la construcción de infraestructura urbana, además, a falta de un sistema de alcantarillado adecuado. Esta situación se refleja en la descarga directa de aguas residuales sin tratamiento a través de cuatro canales, incluyendo el canal de Chocosito, impactando así negativamente los manglares periurbanos (Riascos & Gómez, 2023). En cuanto a los manglares en bahía El Uno (bosque rural) se ven influenciados directamente por actividades agrícolas (Blanco-

Libreros, 2016), procesos de recuperación de tierras y un nivel moderado de urbanización, contando con alrededor de 500 viviendas en su entorno. Adicionalmente, un pequeño canal de alcantarillado vierte aguas residuales sin tratamiento en esta bahía (Riascos & Gómez, 2023).

Figura 1.

Área de estudio suroccidente del Caribe colombiano. Ubicación de los dos sitios de estudio en el Distrito Turbo: Bahía el Uno y Bahía Turbo (Pescador). Mapa creado con QGIS de código abierto y gratuito.



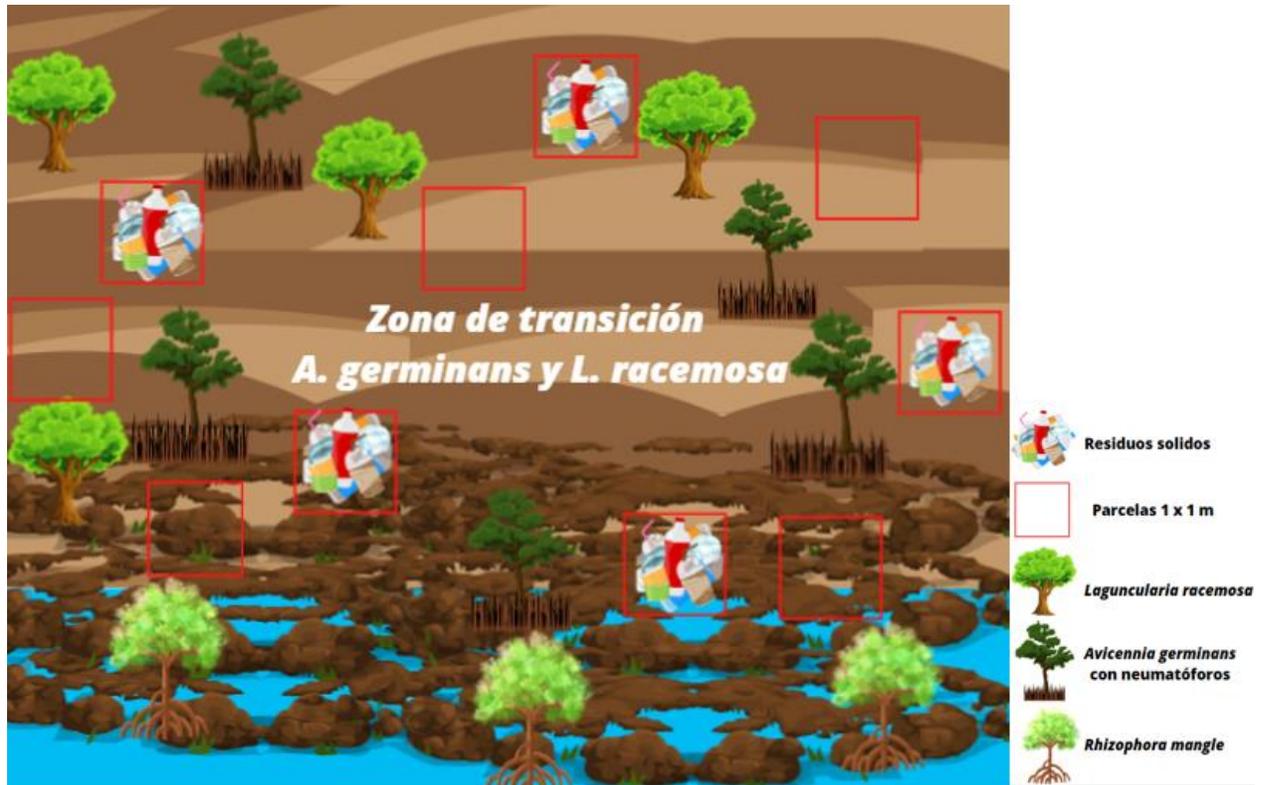
7.2 Trabajo de campo

Se colectaron 100 embriones de *L. racemosa* y *A. germinans* provenientes de los sitios de muestreo. En cada sitio de muestreo se dispusieron 10 parcelas de 1 x 1 m en la zona supralitoral, donde usualmente la distribución de *L. racemosa* y *A. germinans* se solapa formando una zona de transición (Figura 2). En cada parcela, se sembraron al azar 10 embriones de cada especie a una profundidad aproximada de ocho centímetros, insertándolos cuidadosamente en el suelo mediante pequeñas aberturas realizadas que luego fueron cubiertas para garantizar su germinación. Esta disposición se llevó a cabo de manera aleatoria en todo el cuadrante de la parcela. Cinco de estas

parcelas tuvieron presencia de residuos sólidos (R), y cinco sin residuos sólidos (NR), para lo cual se extrajeron todos los materiales de residuos sólidos encontrados en cada parcela. Para evitar el ingreso o salida de los residuos, las parcelas fueron cercadas con estacas de madera con una altura de 1 m.

Figura 2.

*Diseño de muestreo, con la distribución de las parcelas en el área de transición entre *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*.*



Una vez realizada la siembra de los embriones, se realizaron monitoreos periódicos cada 15 días durante ocho quincenas (cuatro meses), para determinar el porcentaje de germinación y la supervivencia de las plántulas. Pasado los cuatro meses, todas las plántulas se extrajeron desde la raíz. Posteriormente, con un bisturí se dividió la plántula en dos partes (parte superior de la planta y la raíz), después con un calibrador Vernier (0.01 mm de precisión) se midió la longitud, y el peso usando una balanza digital (0.01 gr de precisión).

7.3 Análisis de datos

El resultado del porcentaje de germinación se obtuvo con el número máximo de plántulas observadas durante las ocho quincenas sobre el número total de plantas sembradas de cada especie, mientras que el porcentaje de mortalidad se calculó con el número de plántulas sobrevivientes respecto al número de plántulas germinadas.

En primera instancia se realizaron gráficos y análisis estadísticos descriptivos sobre la germinación de las plántulas de *L. racemosa* y *A. germinans* con residuos (R) y sin residuos (NR) de los sitios Bahía el Uno y Pescador. Posteriormente se usó un modelo de regresión logística para modelar la probabilidad de germinación de cada semilla (germinación: 1; no germinación: 0) y la probabilidad de mortalidad (sobrevivencia: 1; no supervivencia: 0). En este modelo, la germinación y mortalidad se tomaron como variables binarias (1/0) dependientes y Especies (*L. racemosa* y *A. germinans*), Tratamientos (Residuos y No residuos) Sitios (Pescador y Bahía el Uno) como variables independientes o Factores. Este análisis se realizó en el programa de código abierto JASP (JASP Team, 2024).

Adicionalmente, para comparar la longitud de las plántulas y el peso húmedo (parte superior y raíz), entre sitios (Bahía el Uno y Pescador) y Tratamientos (R vs NR), se usó una prueba no paramétrica (Wilcoxon test) cuando los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad de acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Mientras que, para los datos que cumplieron con los supuestos de normalidad se realizó una prueba t-Student. Este análisis se hizo en el programa Statgraphics 19.

8 Resultados

8.1 Germinación

Durante todo el experimento, la especie que presentó la mayor cantidad de plántulas germinadas fue *L. racemosa* en el tratamiento NR (Figura 3). Sin embargo, se pudo observar que las dos especies de manglar no tuvieron grandes diferencias en las primeras tres quincenas. Desde la tercera quincena se observó que la germinación presentó un declive gradual para todas las plántulas de *A. germinans* contrario a *L. racemosa*. Esto se pudo ver claramente en Bahía El Uno, ya que, a partir de la tercera semana, se observó un declive en la germinación de *A. germinans* y un aumento de *L. racemosa*, especialmente en el Tratamiento R, que presentó ausencia de plántulas. En contraste a esto, en Pescador el Tratamiento R, presentó una germinación similar en ambas especies, siendo *L. racemosa* la especie con mayor número de plántulas germinadas durante todo el experimento, pese a esto, el Tratamiento NR presentó ausencia de plántulas de *A. germinans* al finalizar el experimento (Figura 3).

Figura 3.

Número y periodo de germinación de *L. racemosa* y *A. germinans* durante ocho quincenas en Pescador (A) y Bahía el Uno (B).

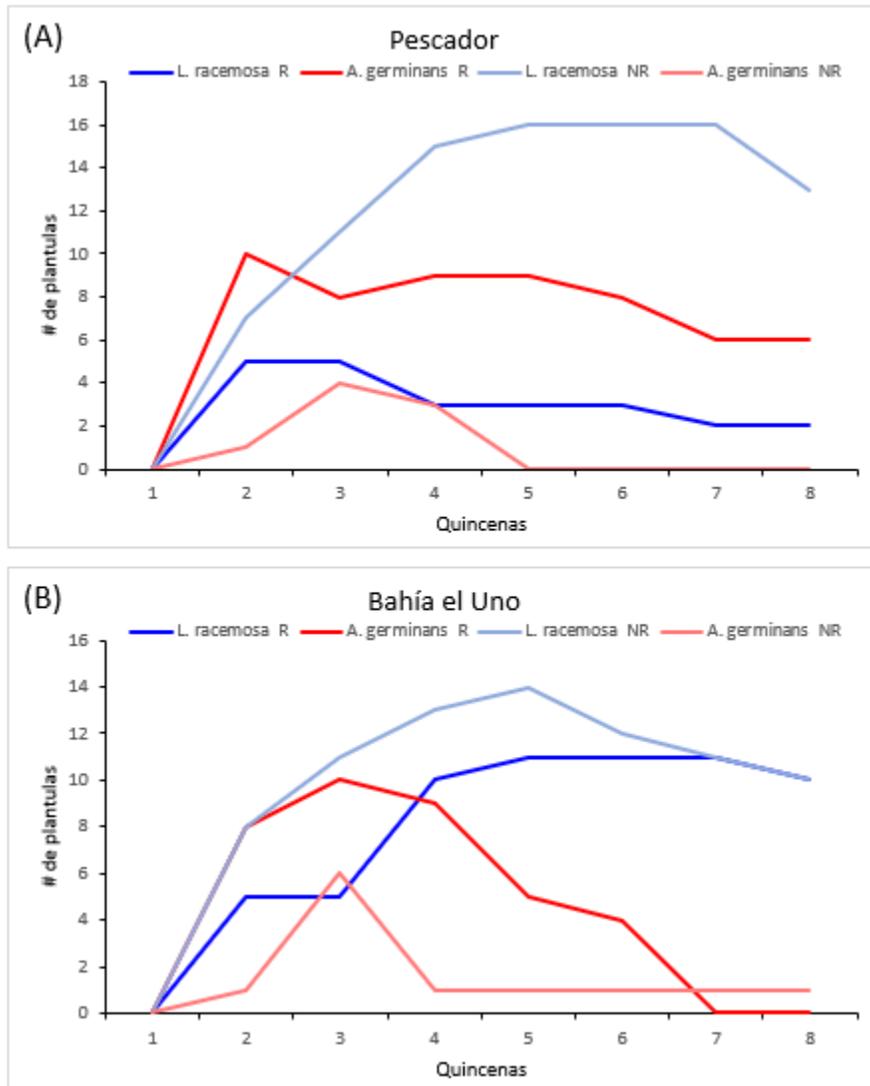
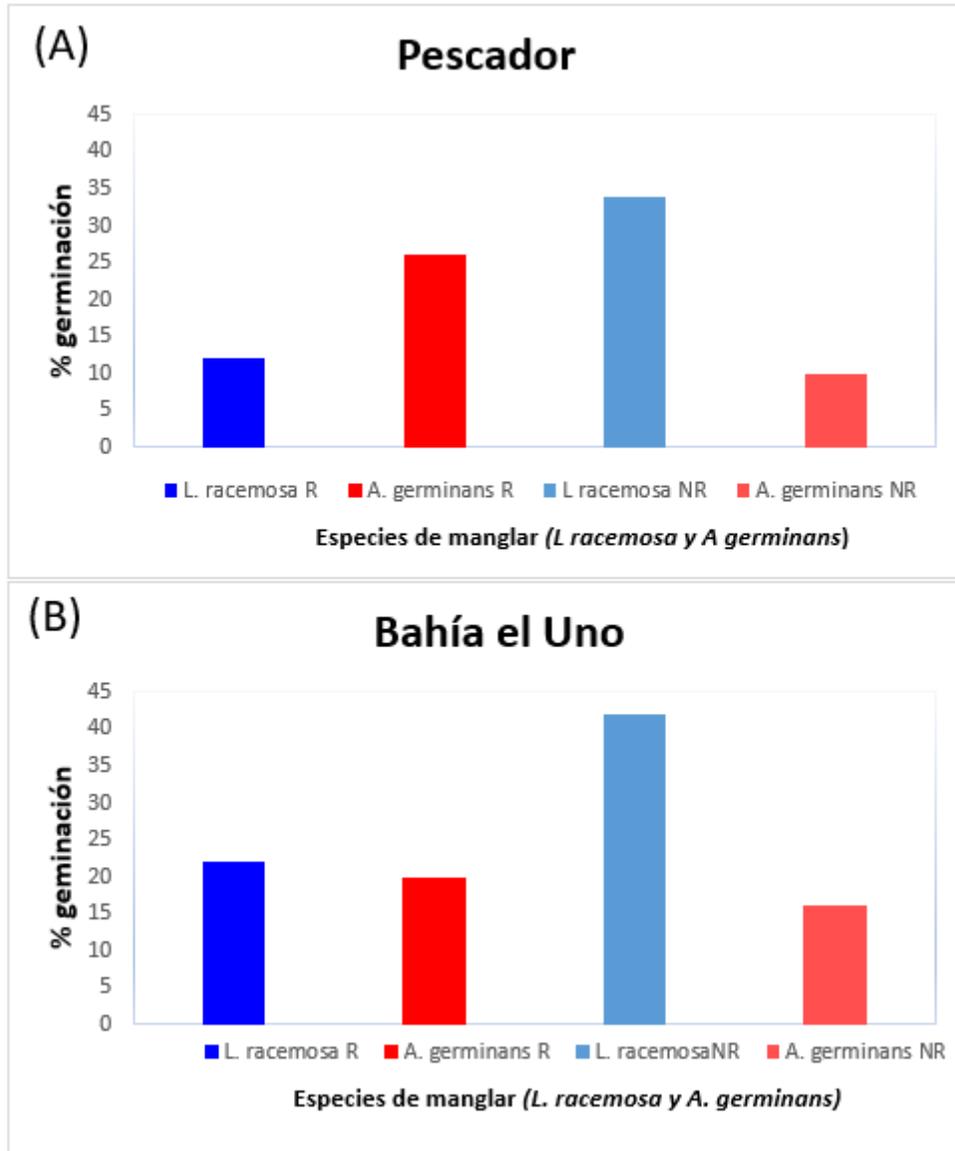


Figura 4.

Porcentaje de germinación Pescador (A) y Bahía el Uno (B).



En general los porcentajes de germinación no superaron el 50%. El mayor porcentaje de germinación se presentó en *L. racemosa* Tratamiento NR con 40% y 35% en Bahía El Uno y Pescador respectivamente (Figura 4). El menor número de germinación fue para *A. germinans* Tratamiento NR en Pescador con 10% (Figura 4B). También se observó que el porcentaje de germinación para *L. racemosa* Tratamiento R es aproximadamente el doble en Bahía El Uno que en Pescador.

El modelo de regresión logística usado para evaluar la influencia del Sitio, Tratamientos, y Especie de manglar fue significativamente mejor que el modelo nulo ($\chi^2_{(396)} = 8.086$; $p = 0.044$) para predecir el resultado de la germinación de las plántulas de manglar. Los resultados del modelo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1.

Resultados de regresión logística para predecir la probabilidad de germinación de plántulas de manglar

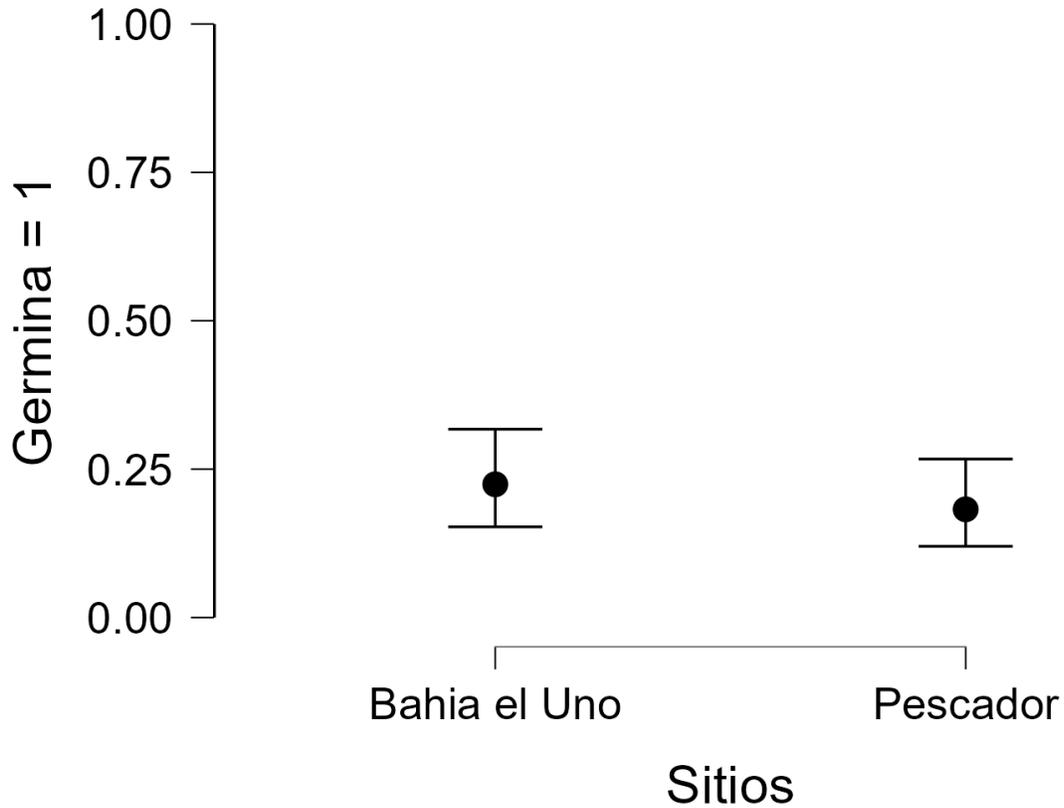
Coeficiente	Estimación	ES	Z	Wald Statistic	Odds Ratio	IC 95% (escala de odds ratio)		Df	P
						Límite inferior	Límite superior		
(Intercepto)	-1.240	0.242	-5.132	26.342	0.289	0.180	0.465	1	< .001
Sitios (Pescador)	-0.261	0.242	-1.081	1.169	0.770	0.480	1.236	1	0.280
Residuos (R)	-0.319	0.242	-1.320	1.742	0.727	0.452	1.167	1	0.187
Especie (<i>L. racemosa</i>)	0.551	0.244	2.261	5.111	1.735	1.076	2.797	1	0.024

Coeficientes: Sitios (Bahía el Uno y Pescador), Especies (*L. racemosa* y *A. germinans*) y Tratamientos (Residuos – R y No Residuos – NR). Los niveles de probabilidad de factores para los cuales se encontró un efecto significativo se muestran en negrita. ES = error estándar, IC = Intervalo de confianza.

Solo uno de los factores evaluados (Especie), mostró un efecto significativo sobre la probabilidad de germinación. *L. racemosa* mostró un efecto significativo con un odds ratio de 1.735. Esto sugiere que la especie *L. racemosa* tuvo un 73.5% más de probabilidad de germinar que *A. germinans*.

Figura 5.

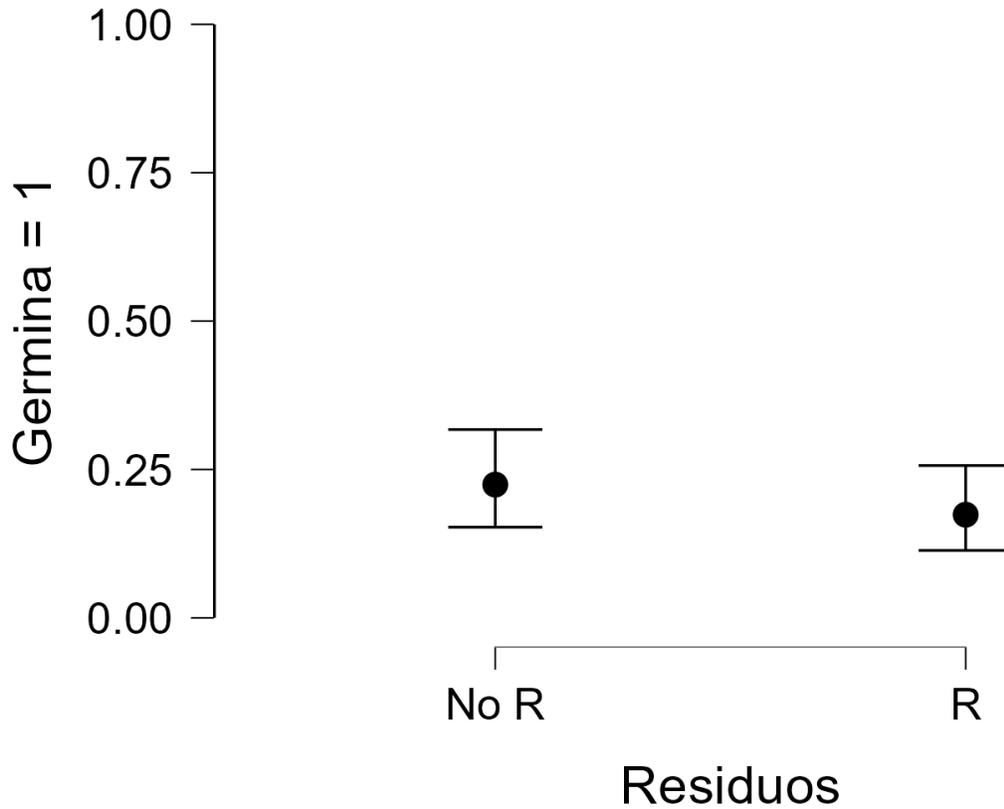
Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Sitios en germinación.



Los valores de probabilidad de germinación que muestra la figura están estimados respecto a valores de referencia de todos los demás factores (Tratamiento, Especie). Las barras de error representan el intervalo de confianza de 95% de la estimación de probabilidad. De acuerdo con los resultados del modelo de regresión logística, el factor Sitio no tuvo un efecto significativo sobre la probabilidad de germinación ($p = 0.280$).

Figura 6.

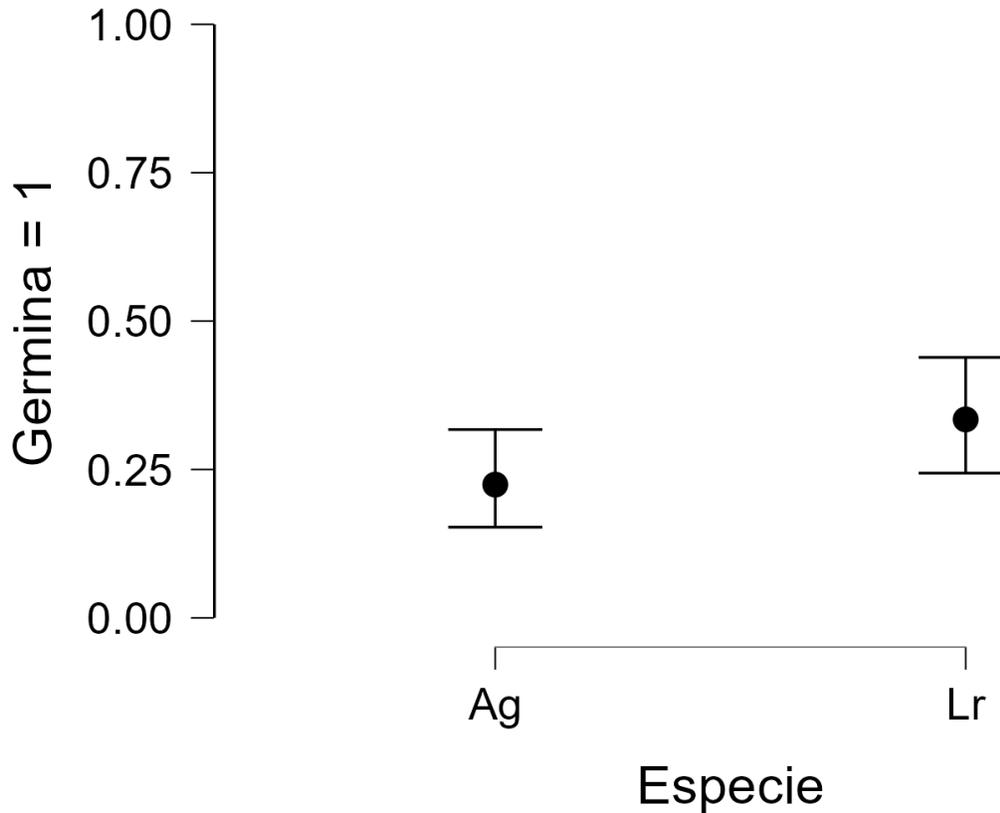
Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Tratamiento en germinación.



Los valores de probabilidad de germinación que muestra la figura están estimados respecto a valores de referencia de todos los demás factores (Sitios, Especie). Las barras de error representan el intervalo de confianza de 95% de la estimación de probabilidad. De acuerdo con los resultados del modelo de regresión logística, el factor Tratamiento no tuvo un efecto significativo sobre la probabilidad de germinación ($p = 0.187$).

Figura 7.

Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Especie en germinación.



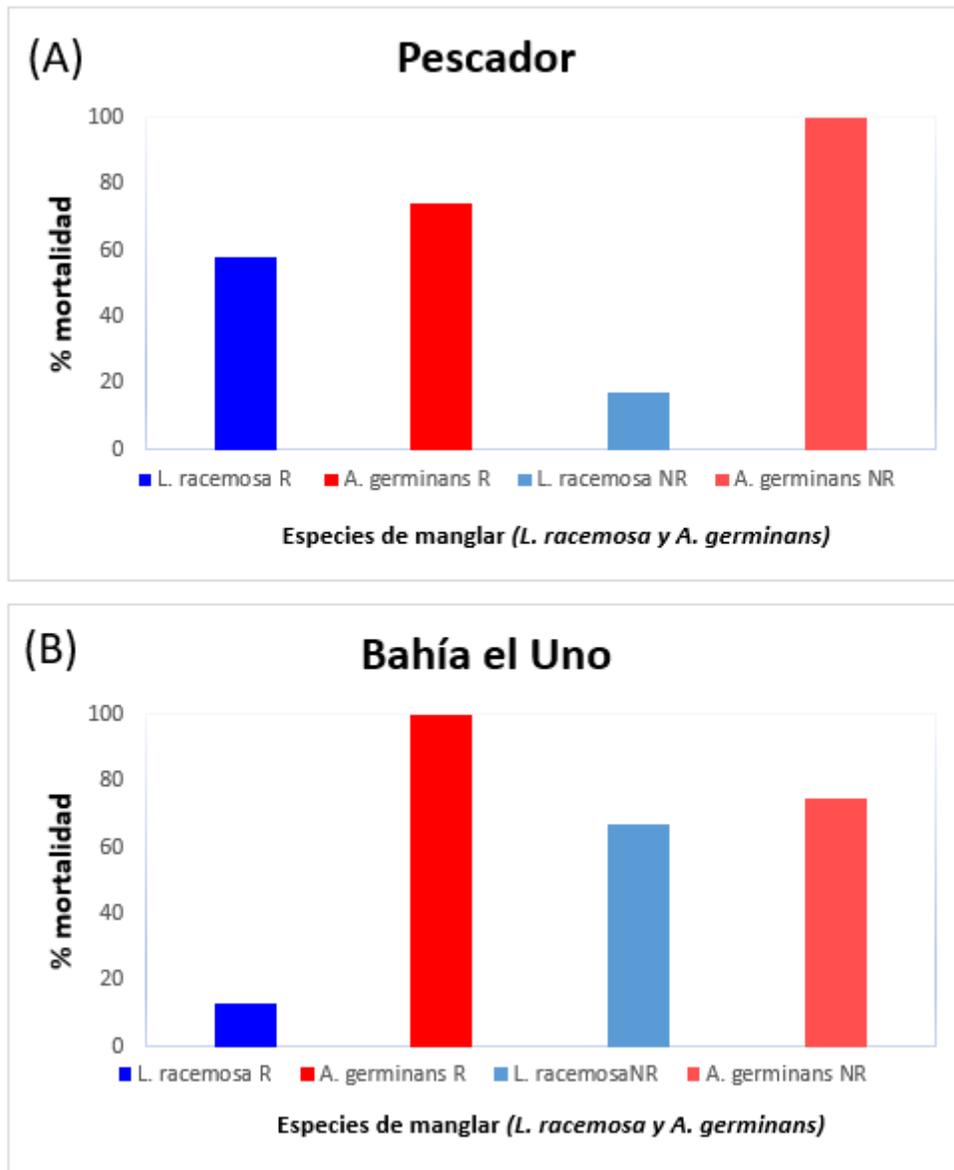
Los valores de probabilidad de germinación que muestra la figura están estimados respecto a valores de referencia de todos los demás factores (Sitio, Tratamiento). Las barras de error representan el intervalo de confianza de 95% de la estimación de probabilidad. De acuerdo con los resultados del modelo de regresión logística, el factor Especie sí tuvo un efecto significativo sobre la probabilidad de germinación ($p = 0.024$).

8.1.1 Mortalidad

En esta sección se destacó que el número de plantas sobrevivientes en los dos sitios no fue superior a 20 plántulas. La especie *A. germinans* presentó mayor porcentaje de mortalidad que *L. racemosa* (Figura 8) siendo esta la más afectada por la presencia de residuos sólidos. El porcentaje de mortalidad fue de 100% para *A. germinans* Tratamiento NR (Figura 8A) en Pescador y *A. germinans* Tratamiento R (Figura 8B) en Bahía El Uno. Cabe mencionar, que *L. racemosa* Tratamiento R en Bahía el Uno presentó la menor cifra de mortandad (Figura 8B).

Figura 8.

Porcentaje de mortalidad Pescador (A) y Bahía el Uno (B).



El modelo de regresión logística usado para evaluar la influencia del Sitio, Tratamiento y Especie de manglar fue significativamente mejor que el modelo nulo ($\chi^2_{(77)} = 16.951$; $p = <.001$) para predecir el resultado de la mortalidad de las plántulas de manglar. Los resultados del modelo se entregan en la tabla 2.

Tabla 2.

Resultados de regresión logística para predecir la mortalidad de plántulas de manglar.

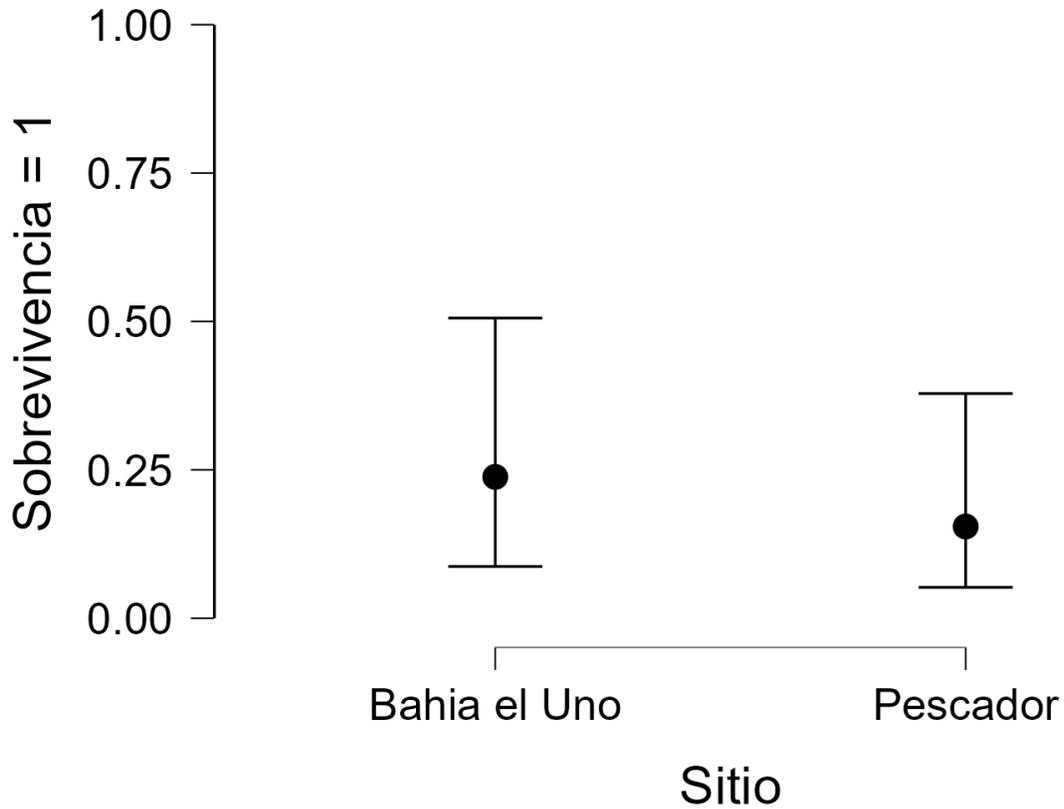
Coeficiente	Estimación	ES	Z	Wald Statistic	Odds Ratio	IC 95% (escala de odds ratio)		Df	P
						Límite inferior	Límite superior		
(Intercepto)	-1.163	0.605	-1.922	3.694	0.313	0.095	1.023	1	0.055
Sitios (Pescador)	-0.537	0.505	-1.063	1.130	0.585	0.217	1.573	1	0.288
Residuos (R)	1.260	0.583	2.159	4.663	3.525	1.123	11.061	1	0.031
Especie (<i>L. racemosa</i>)	1.960	0.578	3.394	11.521	7.103	2.290	22.033	1	< .001

Coeficientes: Sitios (Bahía el Uno y Pescador), Especies (*L. racemosa* y *A. germinans*) y Tratamiento (Residuos – R y No residuos – NR). Los niveles de probabilidad de factores para los cuales se encontró un efecto significativo se muestran en negrita. ES = error estándar, IC = Intervalo de confianza.

De los tres factores evaluados, solo los factores Tratamiento (Residuos) y Especie (*L. racemosa*) tienen una asociación significativa sobre la sobrevivencia, con un odds ratio de 3.525 y 7.101 respectivamente, es decir que la especie *A. germinans* tiene más probabilidades de mortalidad que *L. racemosa* con presencia de residuos sólidos, independientemente del sitio (Bahía El Uno o Pescador).

Figura 9.

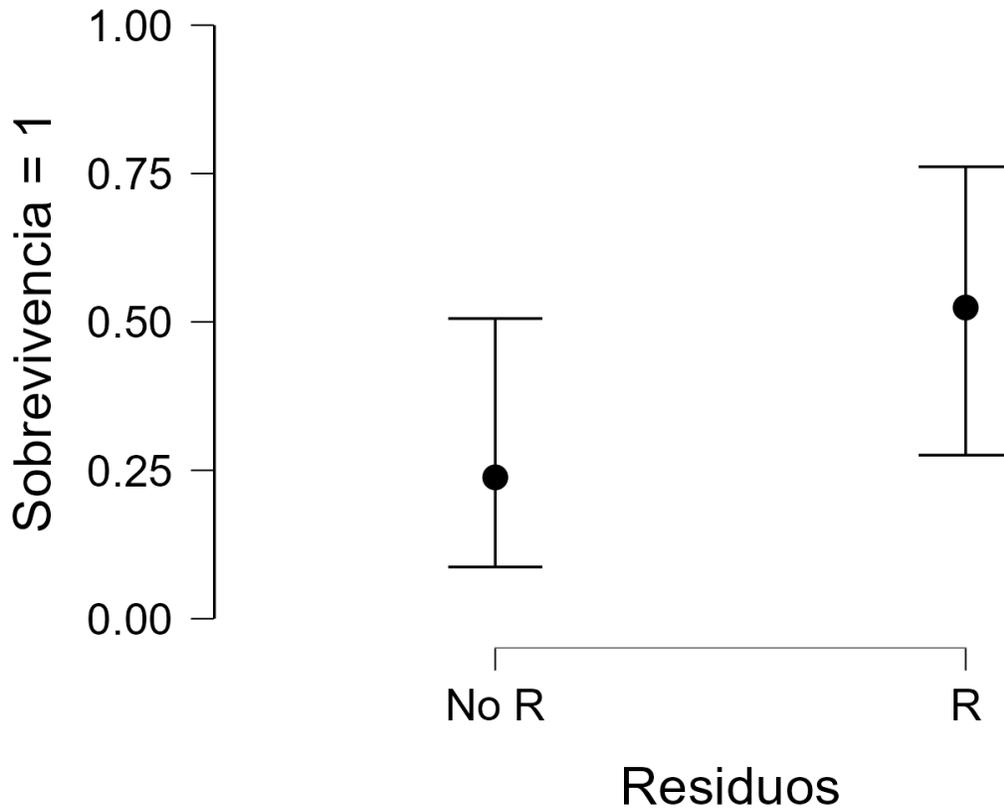
Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Sitio en mortalidad.



Los valores de probabilidad de mortalidad que muestra la figura están estimados respecto a valores de referencia de todos los demás factores (Tratamiento, Especie). Las barras de error representan el intervalo de confianza de 95% de la estimación de probabilidad. De acuerdo con los resultados del modelo de regresión logística, el factor Sitio no tuvo un efecto significativo sobre la probabilidad de mortalidad ($p = 0.288$).

Figura 10.

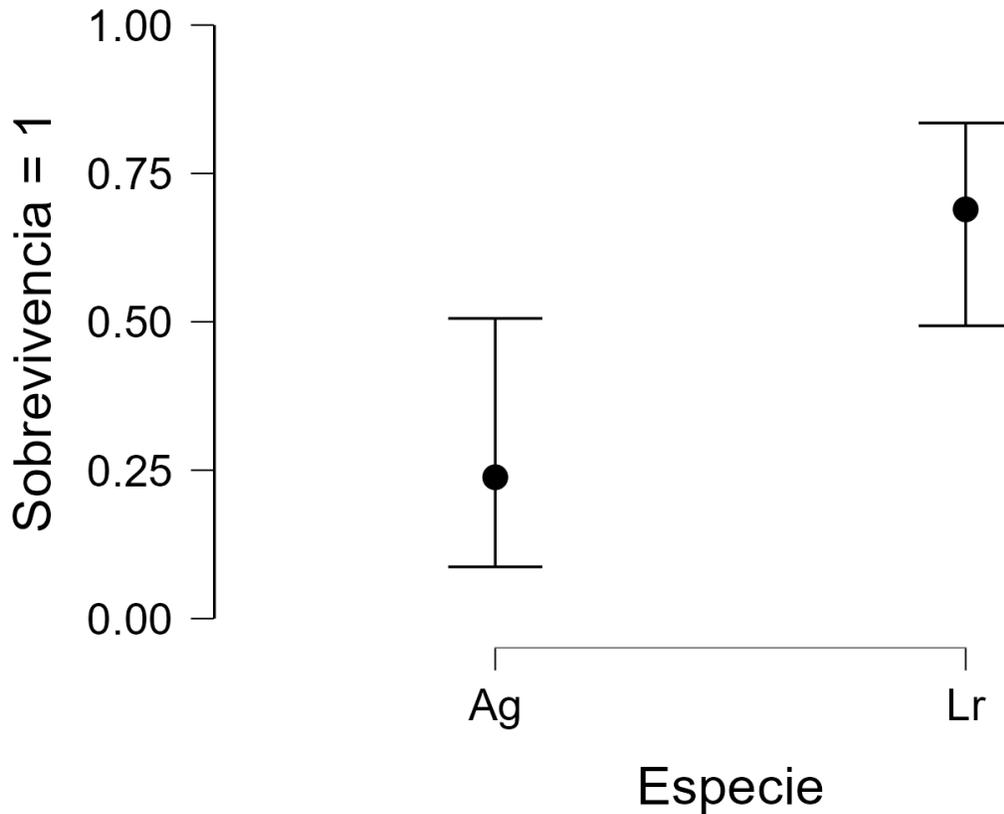
Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Residuos en mortalidad.



Los valores de probabilidad de mortalidad que muestra la figura están estimados respecto a valores de referencia de todos los demás factores (Sitios, Especie). Las barras de error representan el intervalo de confianza de 95% de la estimación de probabilidad. De acuerdo con los resultados del modelo de regresión logística, el factor Tratamiento sí tuvo un efecto significativo sobre la probabilidad de mortalidad ($p = 0.031$).

Figura 11.

Diagrama de probabilidad condicionada para ilustrar el efecto del factor Especie en mortalidad.



Los valores de probabilidad de germinación que muestra la figura están estimados respecto a valores de referencia de todos los demás factores (Sitio, Tratamiento). Las barras de error representan el intervalo de confianza de 95% de la estimación de probabilidad. De acuerdo con los resultados del modelo de regresión logística, el factor Especie si tuvo un efecto significativo sobre la probabilidad de mortalidad ($p < .001$).

8.2 Tamaño y peso de las plántulas

8.2.1 Longitud de la plántula y la raíz

Con relación a la longitud de la parte superior de la plántula y la raíz, entre los sitios (Bahía El Uno y Pescador), no hubo diferencias significativas ($t = -1,956$; $p = 0,057$) y ($t = 0,605$; $p = 0,548$). En Bahía el Uno ambos tratamientos (R y NR), no presentaron diferencias significativas en la parte superior de la plántula (Figura 12B) ($t = -1,527$; $p = 0,143$), ni en la raíz (Figura 13B) ($t = 0,489$; $p = 0,630$). De igual manera, no hubo diferencias significativas en Pescador para la parte superior de la plántula (Figura 12A) ($t = -1,839$; $p = 0,0815$) y en la raíz (Figura 13A) ($t = 1,183$; $p = 0,251$). Con respecto a la comparación entre las especies (*L. racemosa* y *A. germinans*) no fue posible debido a que solo un ejemplar de *A. germinans* sobrevivió hasta la octava quincena y en el Pescador en el tratamiento NR no hubo ejemplares sobrevivientes.

Figura 12.

Longitud parte superior de la plántula, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).

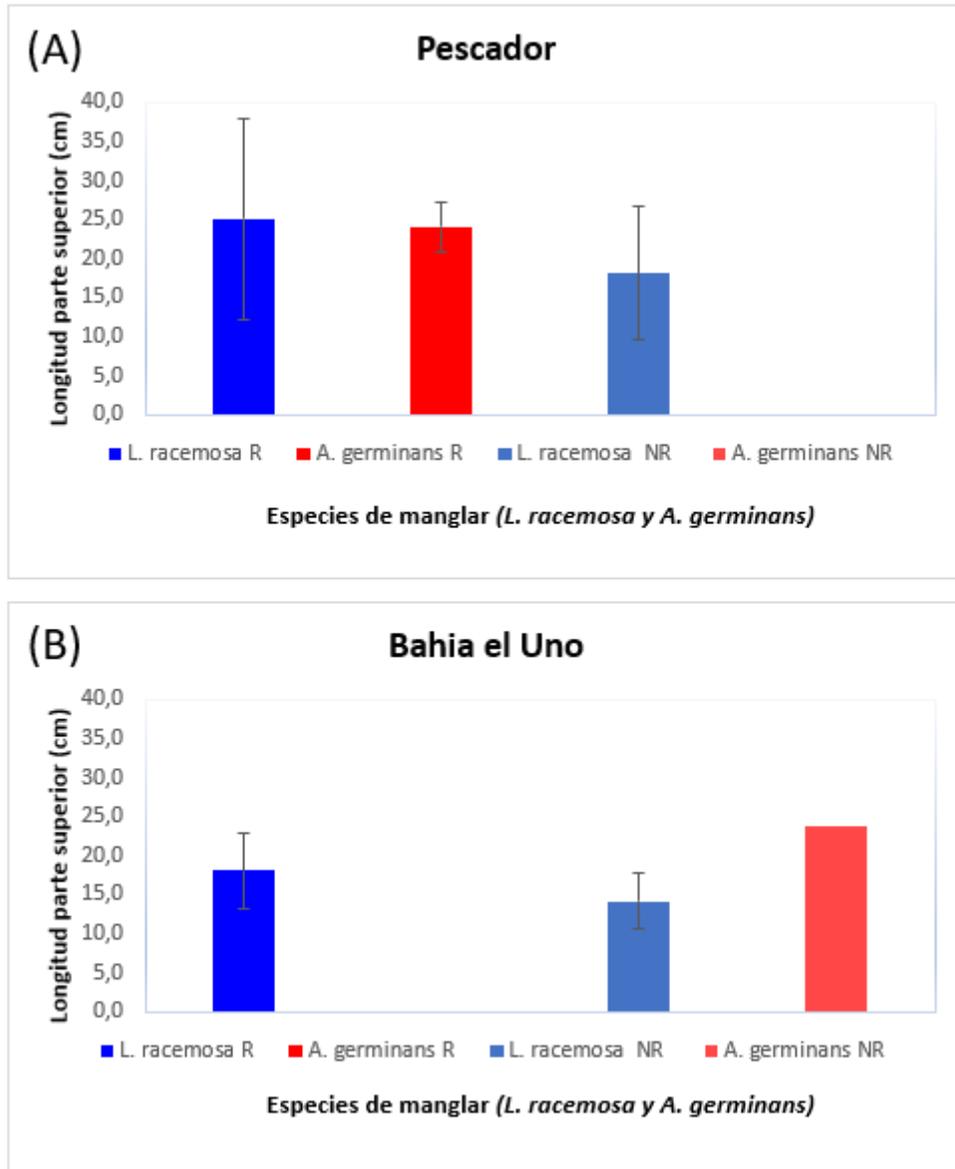
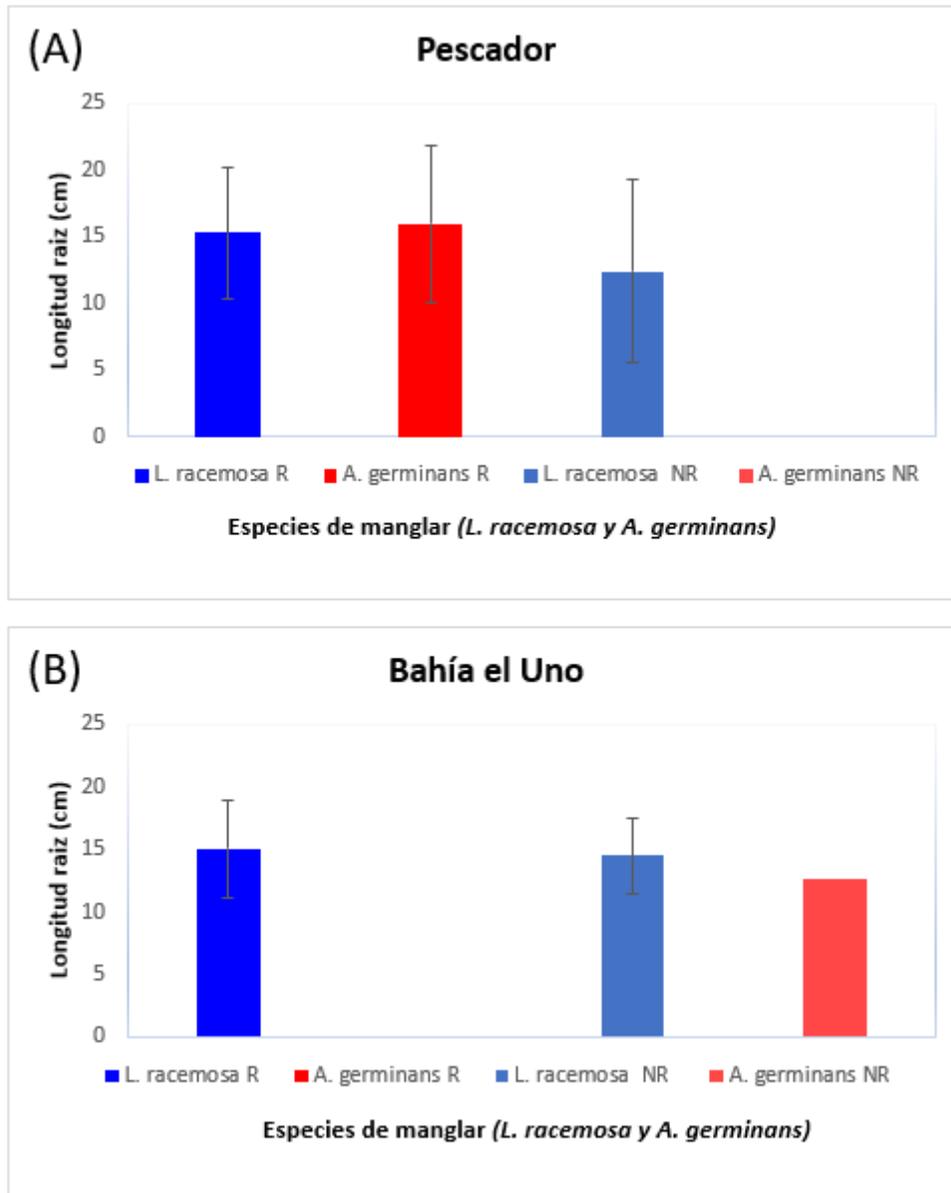


Figura 13.

Longitud de raíz, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).



8.2.2 Peso de la plántula y la raíz

Respecto al peso de la parte superior de la plántula entre los sitios Pescador y Bahía el Uno, hubo diferencias significativas ($W = 140,0$; $p = 0,0435$), mientras que en la raíz no hubo diferencias significativas ($t = -1,804$; $p = 0,0786$). En los tratamientos de Bahía el Uno (R y NR), el peso de la parte superior (Figura 14B) ($W = 86,5$; $p = 0,0271$) y el peso de la raíz (Figura 15B) ($W = 91,0$; p

= 0,0120) presentaron diferencias significativas. En contraste el peso de la parte superior (Figura 14A) ($W = 73,5$; $p = 0,127$) y peso de la raíz (Figura 15A) ($t = -0,395$; $p = 0,696$) en Pescador no presentaron diferencias significativas. La comparación entre las especies (*L. racemosa* y *A. germinans*) no fue posible debido a que solo un ejemplar de *A. germinans* sobrevivió hasta la octava quincena y en el Pescador en el tratamiento NR no hubo ejemplares sobrevivientes.

Figura 14.

Peso parte superior de la plántula, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).

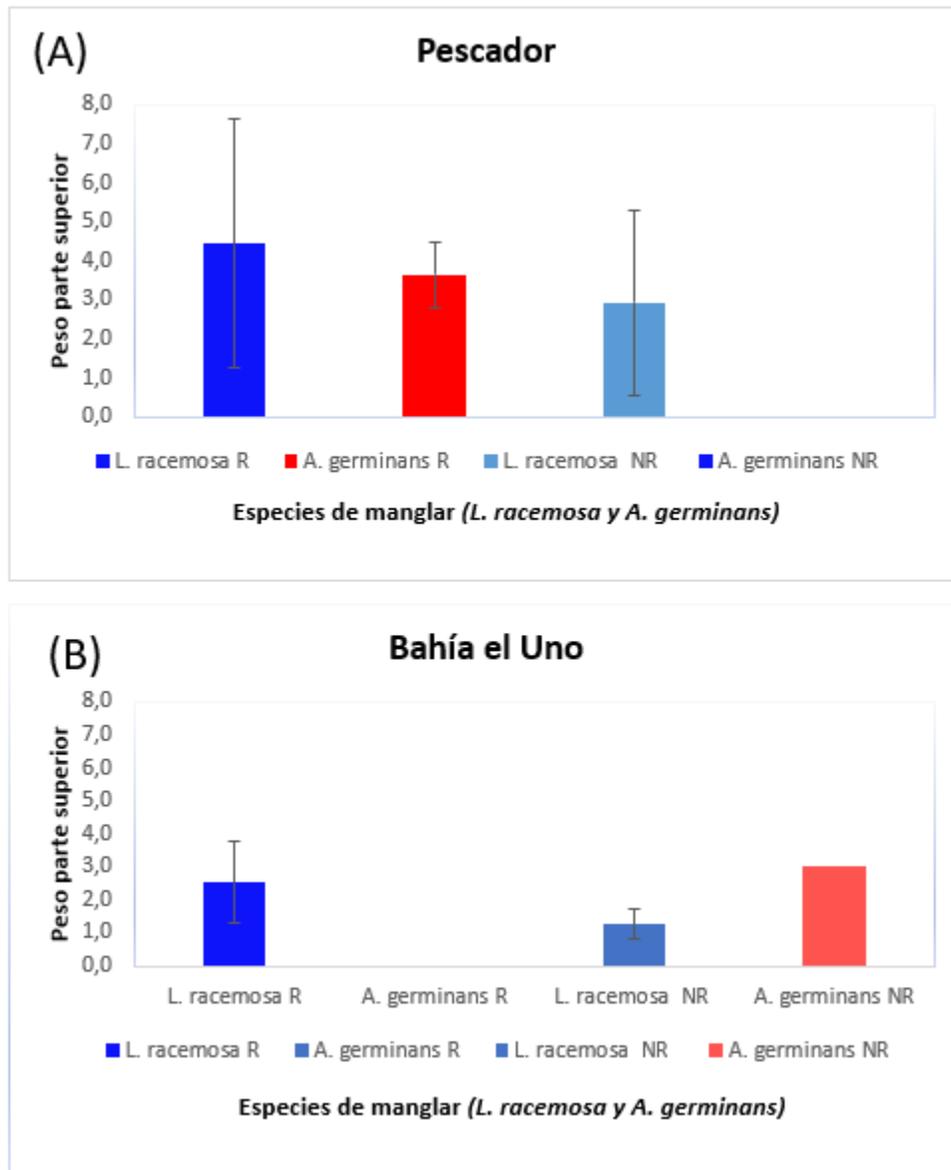
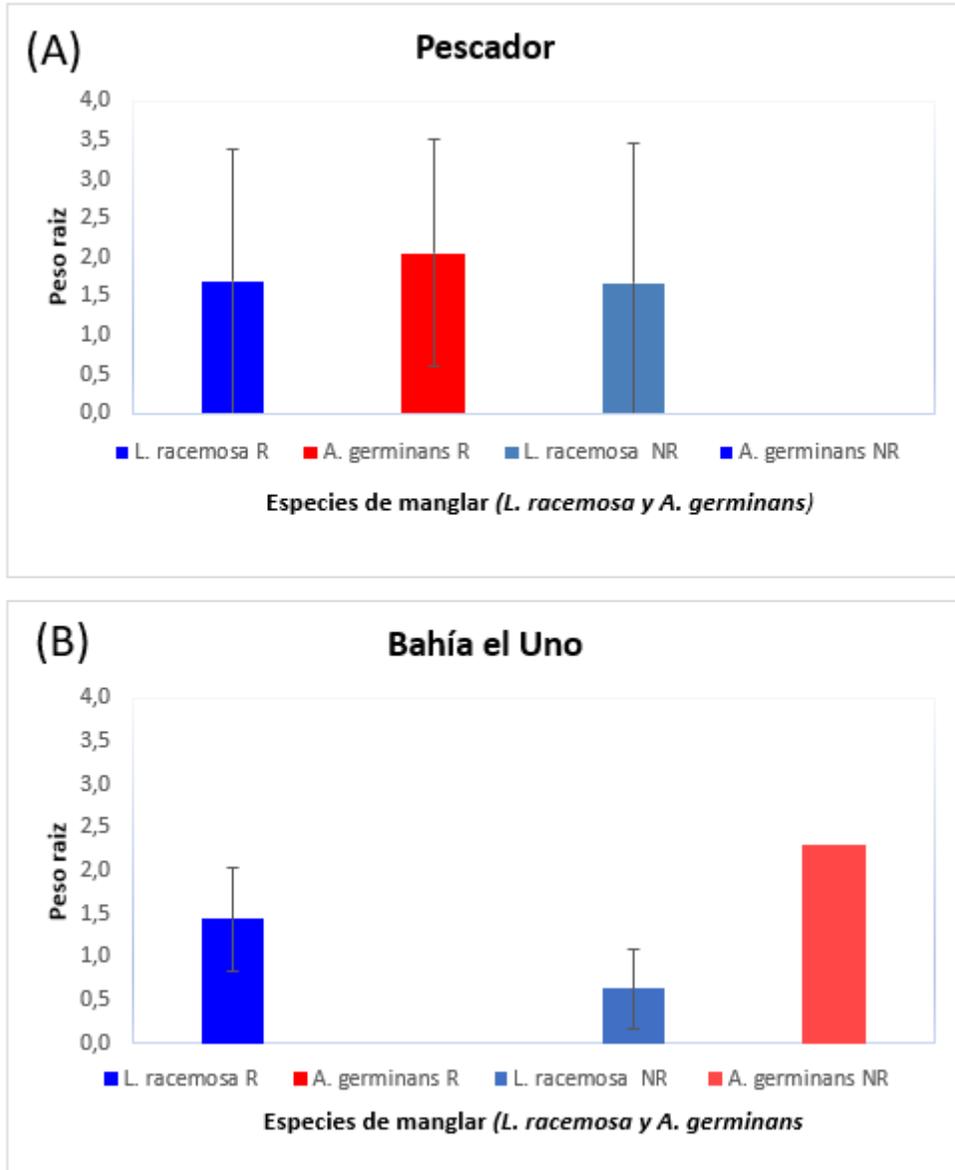


Figura 15.

Peso de raíz, Pescador (A) y Bahía el Uno (B).



9 Discusión

El presente trabajo demostró que independientemente del sitio y la cantidad de residuos sólidos, la capacidad de germinación de *L. racemosa* es mayor que la de *A. germinans*, mientras la probabilidad de sobrevivencia durante la fase temprana de vida también fue mayor en *L. racemosa* y esta fue mayor en los sitios con residuos sólidos. Los residuos sólidos urbanos alteran el ecosistema de manglar, y pueden generar remoción de especímenes de la flora, provocando algunas afectaciones al germinar (Suárez, 2013; Branoff, 2017). Sin embargo, de las dos especies estudiadas se evidenció que *L. racemosa* fue la menos afectada por esta perturbación. La dominancia de *L. racemosa* frente a *A. germinans* es habitual en lugares con alta o baja presencia de efecto antrópico (Suárez, 2013; Hoyos *et al.*, 2013; Blanco-Libreros, 2016; Ordóñez & Arenas, 2019) y puede estar relacionado a la compactación del suelo debido a la presencia de residuos sólidos. Esta dominancia también se ha presentado en la Ciudad de Panamá (Benfield *et al.*, 2005; Branoff, 2018) y Puerto Rico (Branoff & Martinuzzi, 2020).

Además, como los propágulos de *L. racemosa* suelen hundirse más rápido y tienen un tiempo de varada reducido comparado con *A. germinans* (Delgado *et al.*, 2001), es plausible pensar que estas alteraciones antrópicas sobre el sustrato pueden favorecer la propagación de *L. racemosa*. Lo anterior, concuerda con lo afirmado por Suárez (2013) y Blanco-Libreros (2016), que consideran que esta dominancia se debe a su capacidad para prosperar en ambientes perturbados.

L. racemosa y *A. germinans* tienen un tipo de germinación hipogea, en este proceso, la plántula emerge bajo la superficie del suelo, manteniendo los cotiledones o las primeras hojas bajo tierra (característica de los mangles), lo que les permite establecerse en ambientes costeros y protegerse de las condiciones adversas, como la salinidad y la marea alta (Infante-Mata *et al.*, 2014). Sin embargo, *A. germinans* germina en condiciones de salinidad más alta en comparación con *L. racemosa* (Krauss & Ball, 2013). Pero, en ambientes urbanos, donde las actividades humanas pueden reducir la salinidad del agua (por ejemplo, a través del drenaje de aguas pluviales y la infiltración de aguas residuales tratadas), *L. racemosa* puede encontrar condiciones más favorables para su crecimiento en comparación con áreas de manglares naturales que experimentan alta salinidad (Rivera-Monroy *et al.*, 2017). Adicionalmente, las condiciones estuarinas del área de

estudio podrían generar bajas salinidades en los ecosistemas de manglar, lo que podría beneficiar la germinación y sobrevivencia de *L. racemosa*. Esto ayuda a entender por qué la especie *L. racemosa* domina en entornos antrópicos y contaminados con residuos sólidos.

Sin embargo, las causas de la mortalidad de los propágulos pudieron deberse a la acción de marea o en el momento de introducir las semillas al suelo. Según Delgado *et al.*, (2001), estas causas son factores físicos asociados a la dinámica hídrica del manglar. Además, pudo influir la actividad de cangrejos del género *Uca* sp que estuvieron presentes dentro de los cuadrantes durante todo el experimento (observación personal); en sus actividades de alimentación y excavación pueden perturbar el proceso de germinación.

Los manglares en todo el mundo están disminuyendo en su mayor parte, y a un ritmo mayor en zonas con grandes centros poblados (Santamaría-Damiánesto *et al.*, 2015). Van *et al.*, (2021) afirman que los residuos como el plástico pueden provocar asfixia a las plantas de manglar causando un crecimiento inmediato de los neumatóforos y una posible pérdida de hojas. Durante este experimento se observó que los propágulos lograron germinar “rodeando o esquivando” los residuos. También, se destacó la forma de crecimiento de las raíces de *L. racemosa*, dado que, en el barrio Pescador presentaron consistentemente forma fasciculada, es decir, sin eje principal, mientras que en Bahía el Uno era pivotante (Figura 16). Krauss *et al.*, (2003) señala que las raíces de los manglares son capaces de modificar su estructura en respuesta a condiciones ambientales adversas, incluyendo la presencia de obstáculos.

La presencia de residuos sólidos para los tratamientos de Bahía El Uno parece influir significativamente en el peso de la parte superior de las plántulas ($W = 86,5$; $p = 0,0271$) y en la raíz ($W = 91,0$; $p = 0,0120$) de las plántulas de mangle. Esto podría explicar la diferencia en el tamaño de los manglares urbanizados, ya que los manglares urbanos tienden a ser más pequeños en tamaño debido a la presión urbana y la fragmentación del hábitat, mientras que los manglares naturales pueden alcanzar dimensiones mucho mayores debido a la ausencia de estas presiones humanas (Alongi, 2012). Por lo tanto, la presión antrópica, medida en términos de residuos sólidos, parece generar cambios morfométricos en las especies de manglar, con diferencias marcadas entre bosques con distintos grados de urbanización.

Figura 16.

Forma radicular de una plántula de L. racemosa en el Pescador (A) Fasciculada y Bahía el Uno (B) Pivotal



Además, la falta de ejemplares en algunos tratamientos destaca la fragilidad y complejidad de los ecosistemas de manglar, los cuales tienen un papel fundamental en la protección costera, proporcionando hábitats para la vida silvestre y ayudando a mitigar el cambio climático (Alongi, 2002). Por lo tanto, reducir la contaminación no solo mejorará la salud y el crecimiento de las plántulas, sino que también preservará los beneficios ecológicos y económicos que estos ecosistemas ofrecen (Duke et al., 2007).

10 Conclusión

Este estudio revela que, independientemente de la presencia y cantidad de residuos sólidos, *L. racemosa* exhibe una mayor capacidad de germinación y supervivencia en comparación con *A. germinans*. Además, se observó que la presencia de residuos sólidos urbanos puede alterar significativamente el ecosistema de manglar, afectando potencialmente el proceso de germinación de estas especies. Las raíces de *L. racemosa* mostraron adaptaciones morfológicas específicas en respuesta a la presencia de residuos sólidos. Estos resultados respaldan la hipótesis, y enfatizan las diferencias significativas entre las dos especies en términos de su proceso de germinación y sobrevivencia. También sugieren la necesidad de considerar estrategias de gestión y conservación específicas para cada especie en entornos afectados por la presencia de residuos sólidos urbanos.

11 Recomendaciones

- Evaluar la interacción entre la salinidad y la presencia de residuos sólidos en la germinación y el desarrollo temprano de ambas especies.
- Analizar todas las etapas de desarrollo, desde la germinación hasta una planta adulta, incluyendo todas las especies de mangle presentes en el área de estudio.

12 Referencias

- Acampora, B. H. A. D. (2016). Los manglares como infraestructura verde: el caso de la región metropolitana de Florianópolis, costa Sur de Brasil. In *VIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Balneário Camboriú, junio 2016*. Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental conservation*, 29(3), 331-349.
- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon management*, 3(3), 313-322.
- Benfield, S. L., Guzman, H. M., & Mair, J. M. (2005). Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama. *Journal of Environmental Management*, 76(3), 263-276.
- Blanco-Libreros, J. F. (2009). Banana crop expansion and increased river-borne sediment exports to the Gulf of Urabá, Caribbean coast of Colombia. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38(3), 181-183.
- Blanco-Libreros, J. F. (2016). Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión. *Actualidades Biológicas*, 38(104), 53-70.
- Blanco-Libreros, J. F., Ortiz-Acevedo, L. F., & Urrego, L. E. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Actualidades Biológicas*, 37(103), 131-141.
- Blanco-Libreros, J. F., & Estrada-Urrea, E. A. (2015). Mangroves on the edge: Anthrome-dependent fragmentation influences ecological condition (Turbo, Colombia, Southern Caribbean). *Diversity*, 7(3), 206-228.
- Branoff, B. L. (2017). Quantifying the influence of urban land use on mangrove biology and ecology: A meta-analysis. *Global ecology and biogeography*, 26(11), 1339-1356.
- Branoff, B. (2018). Urban mangrove biology and ecology: Emergent patterns and management implications. *Threats to Mangrove Forests*, 521-537.
- Branoff, B. L., & Martinuzzi, S. (2020). The structure and composition of Puerto Rico's urban mangroves. *Forests*, 11(10), 1119.

- Delgado, P., Hensel, P. F., Jiménez, J. A., & Day, J. W. (2001). The importance of propagule establishment and physical factors in mangrove distributional patterns in a Costa Rican estuary. *Aquatic Botany*, 71(3), 157-178.
- Duke, N.C., J.O. Meynecke, S. Dittman, A.M. Ellison, K. Anger, U. Berger y S. Cannicci. 2007. A world without mangroves? *Science*. 317:41-42.
- Escobar, C. S. (2011). Relevancia de procesos costeros en la hidrodinámica del Golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar*, 40(2), 327-346.
- García-Valencia, C. (Ed). 2007. Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar N° 12. Santa Marta, Colombia. 180p.
- Gilman, E. L., Ellison, J., Duke, N. C., & Field, C. (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic botany*, 89(2), 237-250.
- Hamilton, S., & Casey, D. (2016). Creation of a high spatiotemporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, 25, 729– 738.
- Hanson, A. M. (2017). Women’s environmental health activism around waste and plastic pollution in the coastal wetlands of Yucatán. *Gender & Development*, 25(2), 221-234.
- Hoyos, R., Urrego, L. E., & Lema, Á. (2013). Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intra-anual. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1445-1461.
- Infante-Mata, D., Moreno-Casasola, P., & Madero-Vega, C. (2014). ¿*Pachira aquatica*, un indicador del límite del manglar? *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(1), 143-160.
- JASP Team. (2024). JASP (Version 0.18.3). (Computer software). Retrieved from <https://jasp-stats.org>
- Krauss, K. W., Allen, J. A., & Cahoon, D. R. (2003). Differential rates of vertical accretion and elevation change among aerial root types in Micronesian mangrove forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(2), 251-259.
- Krauss, K. W., & Ball, M. C. (2013). On the halophytic nature of mangroves. *Trees*, 27(1), 7-11.

- Manullang, C. Y. (2020). Distribution of plastic debris pollution and its implications on mangrove vegetation. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111-642.
- Ordóñez, O. G., & Arenas, M. R. B. (2019). Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 11(2), 134-154.
- Padilla, J. M. G., & Palacio, J. (2008). Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del Mangle Rojo (*Rhizophora mangle*) en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Gestión y ambiente*, 11(3), 55-66.
- Riascos, J. M., & Gomez, N. (2023). A bioengineer in the city—the Darwinian fitness of fiddler crabs inhabiting plastic pollution hotspots. *Environmental Pollution*, 335, 122254.
- Rivas Arias, C. A. (2018). Piensa un minuto antes de actuar: Gestión integral de residuos sólidos. *Campaña de Compras Verdes. Colombia: Gobierno de Colombia*, MinAmbiente.
- Rivera-Monroy, V. H., Osland, M. J., Day, J. W., Ray, S., Rovai, A., Day, R. H., & Mukherjee, J. (2017). Advancing mangrove macroecology. *Mangrove ecosystems: A global biogeographic perspective: Structure, function, and services*, 347-381.
- Santamaría-Damián, S., Acosta-Velázquez, J., Romero-Berny, E. I., & Tovilla-Hernández, C. (2015). Cambios en la cobertura de los manglares y modificación del terreno en el sistema lagunar Los Patos-Solo Dios, en la costa de Chiapas, México. *Lacandonia*, 9(9), 21-30.
- Suárez Gómez, J. A. (2013). Influencia de factores oceánicos y climáticos en los manglares del golfo de Urabá. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- Tomlinson, P. B. (1986). *the Botany of Mangroves* Cambridge University Press London.
- Van Bijsterveldt, CE, van Wesenbeeck, BK, Ramadhani, S., Raven, OV, van Gool, FE, Pribadi, R., and Bouma, TJ (2021). Does plastic waste kill mangroves? A field experiment to assess the impact of macroplastics on growth, stress response and survival of mangroves. *Total Environmental Science*, 756, 143826.