

**FACTORES QUE AFECTAN LA PROPAGACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE
Avicennia germinans L. EN AMBIENTES DEGRADADOS DE REGIONES
SEMIÁRIDAS SUBTROPICALES**

Por

Luisa Fernanda Ramírez Ochoa

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS

En

OCEANOGRAFÍA BIOLÓGICA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2005

Aprobado por:

Paul Yoshioka, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Julio Morell, M.S.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Ernesto Otero, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Iris Tirado, M.S.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Nilda E. Aponte, Ph.D.
Director del Departamento

Fecha

ABSTRACT

Massive mortality in mangrove stands was reported during the 1990's in Jobos Bay National Estuarine Research Reserve (JOBANNER). At the present the recruitment and growth of *Avicennia germinans* seedlings are negligible. This work strives to examine biotic and abiotic factors that affect recruitment and development of *A. germinans* in the study area.

Long-term mangrove cover at JOBANNER was examined in aerial photographs between 1963 and 2002 as part of ancillary effort to quantify the decline of mangrove. Density of *A. germinans*, inundation level, temperature and salinity in water and sediments were measured during a year along transects oriented perpendicular to the coastline. Two transects were located in the mortality area known as Mar Negro and the third at an eastern control station within JOBANNER named Aguirre. Seed production from June-December was estimated and seeds retention was assessed in June and September-December. The growth and survival of *A. germinans* seedlings in a nursery cultivated at salinities of 0, 35, 65 and 95 (practical salinity) were evaluated. Surviving seedlings from different salinities were replanted in Mar Negro and Aguirre. The development of seedling in treatments of different light exposure as well as the use of PVC tubes as protection against flooding was examined. During the first week of transplant the larvae of the lepidopteron *Junonia evarete* was found feeding on seedlings, thus observations related to the larvae were included in the study.

Results indicate a 50% loss of mangrove cover between 1963 and 2002. Under natural conditions seedlings were found at maximum salinities of 131 and 124 in Aguirre and Mar Negro, respectively. In contrast, seedlings grew under nursery conditions at salinities up to 65. Natural recruitment was 0.45 and 0.1 seeds/m²/year at Aguirre and Mar Negro, respectively. The greater seed production occurred in Aguirre and the rate of seed loss was 2 seeds/m²/day in both sites. Overall, seedlings exposed to sunlight all day and protected against flood with PVC tubes survived and grew better in both sites, although growth was higher in Mar Negro.

This study concludes that recruitment in JOBANNER is restricted by the low production and retention of seeds. The survival of seedlings during the wet season is

related to the presence of moderate inundation levels thus indicating the higher survival of young plants when using PVC tubes. Herbivory from *J. evarete* larvae did not directly affect seedlings survival but made them susceptible to extreme edaphic conditions. Survival of 72% of seedlings at the end of the dry season in Mar Negro indicates that recolonization is possible if techniques such as cultivating seedlings, transplanting and using PVC tubes as protective barriers against inundation are used.

RESUMEN

Durante la década de los noventa se observó mortalidad masiva de manglar en el sector Mar Negro de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Actualmente el reclutamiento y crecimiento de propágulos de *Avicennia germinans* en el área es casi inexistente. Este trabajo busca examinar factores bióticos y abióticos que afectan el reclutamiento y desarrollo de *A. germinans* en el área de estudio.

Cambios en la cobertura de manglar fueron estimados en fotografías aéreas entre 1963 y el 2002 como parte de un esfuerzo complementario para determinar eventos de mortalidad anteriores en la Reserva. La densidad de *A. germinans*, el nivel de inundación, la temperatura y salinidad en agua y en sedimentos fueron determinados durante un año en transectos orientados perpendicularmente a la línea de costa. Dos transectos fueron localizados en el área de mortalidad conocida como Mar Negro y el tercero, conocido como Aguirre, ubicado al Este de la Reserva fue usado como control. Se estimó la producción de semillas entre junio y diciembre del 2004 y la retención de semillas en junio y entre septiembre y diciembre del mismo año. Se estudió el crecimiento y sobrevivencia de plántulas de *A. germinans* cultivadas en salinidades de 0, 35, 65 y 95 en condiciones de vivero. Las plántulas del vivero que sobrevivieron fueron transplantadas en Mar Negro y Aguirre, donde se analizó el desarrollo de los propágulos en tratamientos de diferente exposición solar y el uso de tubos de PVC como protección contra la inundación. Durante la primera semana del trasplante se encontró la larva del lepidóptero *Junonia evarete* alimentándose de plántulas de *A. germinans* y estas observaciones se incluyeron en el estudio.

Los resultados indican que entre 1963 y el 2002 ocurrió una pérdida del 50% del manglar en el sector Mar Negro. Bajo condiciones naturales se encontraron plántulas en salinidades máximas de 131 y 124 en Aguirre y Mar Negro, respectivamente. En contraste, plántulas crecidas en el vivero solo sobrevivieron en salinidades máximas de 65. El reclutamiento natural fue de 0.45 y 0.1 semillas/m²/año en Aguirre y Mar Negro, respectivamente. La producción más alta de semillas ocurrió en Aguirre y la tasa de pérdida de semillas fue de 2 semillas/m²/día en ambos sitios. Las plántulas transplantadas expuestas al sol permanentemente y con tubos de PVC presentaron mejor crecimiento y

sobrevivencia en ambos sitios, sin embargo estos valores fueron mayores en Mar Negro que en Aguirre. La frecuencia de *Junonia evarete* fue mayor en Aguirre en plántulas con exposición solar permanente y tubos de PVC.

Se concluye que el reclutamiento de *A. germinans* es limitado por la baja producción y retención de semillas. La sobrevivencia de las plántulas durante la época húmeda depende de niveles moderados de inundación, es por esto que los tubos de PVC como barreras para proteger las plántulas de la inundación tuvieron un efecto positivo en la sobrevivencia. La herbivoría de las larvas de *J. evarete* no afecta directamente la sobrevivencia de las plántulas sin embargo las hace más vulnerables a condiciones edáficas extremas. La sobrevivencia del 72% de las plántulas al final de la época seca en Mar Negro indica que la recolonización es posible si se implementan técnicas de manejo como cultivo y transplante de plántulas y uso de tubos de PVC como barreras contra la inundación.

DEDICATORIA

**A mi abuela, mis padres y mi hermana,
A Laura y Santiago
A Felipe,**

... principio y final de todos mis caminos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se realizó en parte con el auspicio de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Agradezco a todos los empleados por su ayuda en los aspectos logísticos del trabajo. En especial a la bióloga Iris Tirado.

Los materiales y la transportación hacia el área de estudio fueron cubiertos por un *Seedmoney* otorgado por el Sea Grant, programa de Colegio, Universidad de Puerto Rico, en Mayagüez.

Agradezco al ex-director del Sea Grant, Manuel Valdez Pizzini, a la señora Yulissa García y a todos sus empleados por la amabilidad y colaboración.

Agradezco al Doctor Ernesto Otero por su apoyo para realizar un proyecto de esta índole, por su asesoría, valiosas ideas y aportes a la investigación. También agradezco al Doctor Paul Yoshioka y al Profesor Julio Morell por su tiempo y acertadas sugerencias para interpretar los resultados y mejorar el manuscrito.

En el departamento de Ciencias Marinas agradezco al laboratorio de Bioptica por facilitarme el espacio para desarrollar los ensayos del vivero. A todos los empleados de Magüeyes que siempre estuvieron dispuestos a colaborar en la adecuación de las mesas para el vivero y la preparación de otros materiales indispensables para la investigación. También agradezco a las señoras Monserrate Casiano, Zulma Martínez y Lilivette del Valle por su ayuda en los asuntos administrativos.

Agradezco a los compañeros y amigos que hicieron mas fácil y agradable el proceso y siempre me animaron a seguir adelante.

Finalmente, quiero agradecer a Juan Felipe Gómez, mi compañero de vida y de campo más asiduo y resistente. Por su paciencia, su asesoría y recomendaciones en todos los aspectos de esta investigación y por darme la fuerza para llegar hasta el final.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	6
	Zonación del manglar	6
	Estrategias de reproducción de <i>Avicennia germinans</i>	8
	Herbivoría en el manglar	9
	Nutrientes en el manglar	10
	Tolerancia del manglar a la salinidad y la inundación	11
	Mortalidad del manglar	13
	Restauración de los bosques de manglar	14
3.	METODOLOGÍA	16
3.1	Descripción del Área de Estudio	16
	Localización	16
	Clima	17
	Mareas	18
	Suelos	18
	Hidrología	19
	Vegetación	20
3.2	Colección y Análisis de Datos	21
	Cambios históricos en la cobertura de manglar	22
	Capacidad de regeneración natural y establecimiento de <i>A. germinans</i>	22
	Factores Físico-Químicos	24
	Factores Bióticos	26
	<i>Densidad de individuos de <u>A. germinans</u> en estaciones de muestreo</i>	26
	<i>Retención y establecimiento de propágulos de <u>A. germinans</u></i>	26
	<i>Estimado de producción de semillas de <u>A. germinans</u> en algunos sitios de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos</i>	27
	Sobrevivencia y desarrollo de propágulos de <i>A. germinans</i>	28
	<i>Sobrevivencia y desarrollo de propágulos de <u>A. germinans</u> en diferentes salinidades bajo condiciones de vivero</i>	28
	<i>Establecimiento de plántulas de <u>A. germinans</u> transplantadas en el área de estudio</i>	29
	<i>Interacción de <u>Junonia evarete</u> y <u>A. germinans</u></i>	31
	Análisis estadístico	31

4.	RESULTADOS	33
4.1	Cambios históricos en la cobertura de manglar	33
4.2	Capacidad de Regeneración natural y establecimiento de <i>A. germinans</i>	35
4.2.1	Factores Físico-Químicos	35
	<i>Inundación</i>	35
	<i>Salinidad</i>	36
	<i>Temperatura del suelo</i>	39
	<i>Fluctuaciones diarias de la temperatura superficial</i>	40
	<i>Concentración de nutrientes (C,N,P) en sedimentos</i>	42
4.2.2	Factores bióticos	43
	<i>Densidad de individuos de <u><i>A. germinans</i></u> en estaciones de muestreo</i>	43
	<i>Retención y establecimiento de propágulos de <u><i>A. germinans</i></u></i>	45
	<i>Estimación de producción de semillas de <u><i>A. germinans</i></u> en sitios de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos</i>	50
4.3	Sobrevivencia y desarrollo de propágulos de <u><i>A. germinans</i></u>	51
	<i>Sobrevivencia y desarrollo de propágulos de <u><i>A. germinans</i></u> en diferentes salinidades bajo condiciones de vivero</i>	51
	<i>Establecimiento de plántulas de <u><i>A. germinans</i></u> transplantadas en el área de estudio</i>	52
	<i>Efecto de la salinidad de cultivo y sitios de transplante en el crecimiento de las plántulas</i>	53
	<i>Interacción de <u><i>Junonia evarete</i></u> y <u><i>A. germinans</i></u></i>	56
	<i>Factores que modifican la sobrevivencia de <u><i>A. germinans</i></u> en el área de estudio</i>	58
5.	DISCUSIÓN	60
6.	CONCLUSIONES	72
7.	RECOMENDACIONES	74
8.	BIBLIOGRAFÍA	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Salinidad en sedimentos de estaciones ubicadas en los transectos estudiados en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos entre diciembre del año 2003 y noviembre del 2004.	38
Tabla 2. Grupos de salinidad en sedimentos en el período de muestreo arrojados por el análisis de varianza múltiple.	39
Tabla 3. Grupos de temperatura en °C arrojados por el análisis de varianza múltiple de temperatura superficial de sedimentos en La Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	40
Tabla 4. Temperatura diaria en °C en transectos de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	41
Tabla 5. Diferencias en la concentración de carbono total, nitrógeno total y fósforo total de sedimentos en superficie entre transectos y entre épocas en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	42
Tabla 6. Diferencia entre la razón C/N y N/P en sedimentos superficiales de la Reserva de investigación Estuarina, Bahía de Jobos.	43
Tabla 7. Individuos de <i>A. germinans</i> iniciales y establecidos durante el período de muestreo en estaciones de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	45
Tabla 8. Resultados de la prueba de Kolmorov-Smirnov para comparar el porcentaje de pérdida de semillas durante el mes de junio entre transectos y sectores norte y sur de cada transecto en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	47

Tabla 9. Resultados de la prueba χ^2 para evaluar el efecto del tipo de malla (abierta-cerrada) de cada transecto en la pérdida de semillas entre los meses de septiembre-diciembre en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	47
Tabla 10. Resultados de la prueba χ^2 para evaluar el efecto de la ubicación (norte-sur) de las trampas abiertas y cerradas de cada transecto en la pérdida de semillas entre los meses de septiembre-diciembre en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	48
Tabla 11. Pérdida de semillas de <i>A. germinans</i> en trampas de 1m² de área ubicadas en diferentes sitios de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos durante los meses de junio a noviembre.	50
Tabla 12. Conteo de semillas de <i>A. germinans</i> en colectores ubicados en diferentes sitios de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos durante los meses de junio a noviembre.	50
Tabla 13. Comparación del crecimiento y sobrevivencia de plántulas de <i>A. germinans</i> sometidas a diferentes tratamientos de salinidad en condiciones de vivero.	51
Tabla 14. Crecimiento y sobrevivencia de plántulas de <i>A. germinans</i> transplantadas en dos sitios de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	52
Tabla 15. Comparación en el crecimiento de las plántulas entre sitios de trasplante en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	53

Tabla 16. Comparación del crecimiento de las plántulas transplantadas provenientes del vivero donde fueron cultivadas en diferentes tratamientos de salinidad.	54
Tabla 17. Comparación del crecimiento de las plántulas y de valores promedio de salinidad e inundación entre tratamientos de exposición solar en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	55
Tabla 18. Comparación entre el crecimiento de plántulas sembradas en tubos de PVC y sin tubos en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	56
Tabla 19. Comparación de frecuencia de larvas entre sitios y tratamientos de exposición solar.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la zonación y sucesión del manglar en costas áridas.	7
Figura 2. Localización general del área de estudio.	16
Figura 3. Trayectoria de Huracanes y Tormentas Tropicales que han pasado cerca a la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	17
Figura 4. Mapa Geológico del área de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	19
Figura 5. Área de Estudio.	24
Figura 6. Trampas de Retención de semillas.	27
Figura 7. Esquema de distribución de tratamientos de exposición a la radiación solar en el área de Mar Negro.	30
Figura 8. Cobertura de manglar y distribución de la precipitación anual promedio entre 1956 y el 2002 en el sector Mar Negro de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	33
Figura 9. Pérdida de cobertura de manglar entre 1963 y 2002 y cobertura de manglar en el año 2002 en Mar Negro, Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	34
Figura 10. Profundidad de inundación, marea y precipitación mensual en días de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	36

Figura 11. Salinidad e inundación en épocas extremas entre diciembre del 2003 y noviembre del 2004 en transectos de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	37
Figura 12. Temperatura diaria promedio medida simultáneamente en la superficie de transectos localizados en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	41
Figura 13. Densidad de individuos de <i>Avicennia germinans</i> en tres sitios de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos durante el período de muestreo.	44
Figura 14. Pérdida de semillas de <i>A. germinans</i> en La Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos durante el mes de Junio de 2004.	46
Figura 15. Tasa de pérdida de semillas de <i>A. germinans</i> en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.	49
Figura 16. Porcentaje de larvas de <i>Junonia evarete</i> C. observadas en plántulas transplantadas durante las visitas de campo.	57

LISTA DE APÉNDICES

APÉNDICE 1.	82
APÉNDICE 2.	83
A. Análisis Paramétrico	83
B. Análisis No Paramétrico	101

1. INTRODUCCIÓN

Los manglares se encuentran en estuarios y áreas costeras protegidas del oleaje y aunque su mejor desarrollo ocurre en regiones tropicales también se encuentran en zonas subtropicales (Tomlinson, 1986; Field, 1995). La circulación oceánica afecta la distribución del manglar al modificar la temperatura de las aguas oceánicas; temperaturas inferiores a 24° C en zonas tropicales limitan el establecimiento del manglar, como es el caso en Tumbes, Perú, en la latitud 3° 40' S, donde la corriente fría de Perú impide la extensión del manglar hacia el sur del continente Americano. En otros casos aguas cálidas transportadas por las corrientes propician el desarrollo del manglar aún en latitudes extremas como en Victoria (Australia) localizada en la latitud 38° 45' S (Tomlinson, 1986; Shaeffer-Novelli & Cintrón, 1988).

Las condiciones bajo las que se establece el manglar son el resultado de la interacción de factores como geomorfología, inundación, textura y temperatura del sustrato, pH, salinidad, nutrientes, producción y dispersión de propágulos, competencia, herbivoría, respuesta fisiológica de las especies a los gradientes e interacciones simbióticas. Estas condiciones modican la distribución del manglar y su diversidad florística (Tomlinson, 1986; McKee, 1993). La destrucción directa del manglar y la descarga de contaminantes como combustibles fósiles, metales tóxicos y aguas residuales también afectan los patrones de distribución natural del manglar y modifican su crecimiento (Tomlinson, 1986).

La vegetación que crece en el manglar comparte adaptaciones morfológicas y fisiológicas que le permite establecerse en suelos inestables, sujetos a altas variaciones en inundación y salinidad (Tomlinson, 1986). La zonación de los manglares ha sido explicada a través de factores abióticos principalmente (Davis, 1940; Lugo & Snedaker, 1974) sin embargo aspectos, como la dispersión diferencial y la habilidad de los propágulos para establecerse, pueden incidir en su segregación (Rabinowitz, 1978). En algunos manglares la baja densidad de individuos, el crecimiento lento y niveles bajos de productividad son características correlacionadas con salinidad alta, deficiencia de nutrientes, bajo potencial de oxidoreducción y disminución en la influencia mareal (Lugo

and Snedaker, 1974; Pool *et al.*, 1977; Boto and Wellington, 1984; Lugo, 1989; Feller, 1993).

Los manglares son ecosistemas de alta productividad, sostienen una compleja cadena trófica y proveen hábitat a diversas formas de vida marina y terrestre. El reciclaje de nutrientes mantiene la productividad del manglar así como la de ecosistemas adyacentes y disminuye el efecto de efluentes contaminantes, como combustibles fósiles y aguas residuales, vertidos directamente en el manglar o cerca de la costa. Los manglares estabilizan el sustrato, sirven como barreras protectoras contra la erosión ocasionada por las corrientes, maremotos, huracanes y amortiguan el impacto del aumento en el nivel del mar (Tomlinson, 1986; Cintrón, 1983; Martínez *et al.*, 1979; Lacerda *et al.*, 1993).

El manglar es una fuente de recursos para la economía de las comunidades costeras. Algunas de las actividades realizadas en este ecosistema son: aprovechamiento forestal, extracción de taninos, pesca, acuicultura, recreación y turismo. La sobreexplotación de estos recursos junto con el desarrollo industrial, la construcción de diques, canalizaciones y carreteras en sitios aledaños a los manglares afecta el sistema hídrico, el flujo de nutrientes y propicia la salinización y deposición de grandes volúmenes de sedimentos (Field, 1995; Lugo, Cintrón & Goenaga, 1981; Balaparamenswara *et al.*, 1987).

En 1983 se reportaron 168,810 km² de áreas cubiertas por manglares en todo el mundo y en 1997 el balance mostró un incremento del 7.26% para un total de 181,077 km², como resultado de los esfuerzos de reforestación en Asia, Australasia, Africa Oriental y Medio Oriente. Contradictoriamente la cobertura de manglar del continente americano disminuyó en un 27% para el mismo período (Spalding *et al.*, 1997). Según Martínez (1994) la cobertura de manglar en Puerto Rico aumentó de 64 km² en 1970 a 93 km² en 1989 como resultado de la protección legal de las áreas naturales, el cambio en la agricultura y la colonización natural en nuevas áreas (Cintrón, 1994). La desaparición progresiva de los manglares y otros humedales así como el reconocimiento de sus funciones y servicios ha generado la necesidad de emprender acciones para su restauración y conservación (Kusler & Kentula, 1989; Lewis, 1990; Elster *et al.*, 1999a). Generalmente estas acciones se concentran en el manejo de factores abióticos como la

inundación y la salinidad, a través del restablecimiento del sistema hídrico y modificaciones en la topografía del terreno. Factores bióticos como la producción de semillas, la retención y la herbivoría no siempre son considerados pero tienen un impacto determinante en la abundancia y desarrollo de las plántulas en el manglar y por lo tanto deben ser incluidos en el proceso de restauración (McKee, 1993).

Con el fin de definir técnicas de manejo que garanticen la conservación del manglar en este estudio se examinaron algunos factores que inciden en la ocurrencia de este ecosistema en ambientes semiáridos subtropicales. El estudio se llevó a cabo en la Reserva de Investigación Estuarina de la Bahía de Jobos localizada al sureste de Puerto Rico. Este es el segundo estuario más grande de Puerto Rico y el primero en la costa sur de la isla. La reserva comprende un área de 11.4 km² distribuidos en tres sectores, los dos primeros conocidos con el nombre de Mar Negro y Aguirre corresponden a sistemas de lagunas y salitrales donde se encuentran las especies de manglar *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. El tercer sector conocido como Cayos Caribe, corresponde a un sistema de cayos donde, además de las especies de manglar antes mencionadas se encuentran hierbas marinas y arrecifes de coral (Laboy, 2002).

El agua dulce en este estuario proviene de aguas subterráneas, lluvias y escorrentía (Laboy, 2002). Las prácticas agrícolas, industriales y el desarrollo urbano en áreas adyacentes a la Reserva modifican constantemente el flujo de agua, sedimentos y nutrientes en el manglar. Para la década de los noventa se reportó un evento de mortalidad masiva de *Avicennia germinans* en el sector Mar Negro que ha sido relacionado con el cambio en la hidrología y el aumento en la salinidad en el área. Este evento de mortalidad ha sido relacionado con el cierre de canales de riego usados en cultivos aledaños a la Reserva y que llegaban hasta el manglar aportando agua dulce al sistema (comunicación personal empleados de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos). Adicionalmente, la sobreexplotación del acuífero sobre el que se encuentra el área de estudio ha perdido presión por el cambio en las prácticas de riego y por la alta demanda de agua en la zona ocasionando intrusión mareal (Quiñones, *et al*, 1997). Estas acciones junto a las condiciones de aridez propias del sitio han dado origen a un cambio en la estructura del manglar. Actualmente en Mar Negro crecen individuos

de *A. germinans* dispersos que no superan los 1.5 m de altura. El cambio en estructura del manglar y el crecimiento limitado de *A. germinans* coincide con observaciones realizadas en zonas subtropicales y/o áridas donde *Avicennia* es el género dominante y crece generalmente en forma arbustiva (Tomlinson, 1986). Dadas las características actuales del manglar en el área de estudio surge la necesidad de implementar prácticas de manejo que ayuden a aumentar la cobertura y permanencia de esta especie en la zona.

La Reserva de investigación estuarina Bahía de Jobos presenta la oportunidad de examinar el establecimiento y desarrollo de *A. germinans* en zonas semiáridas subtropicales donde condiciones ambientales como: precipitación baja, evaporación alta y factores antrópicos como presión sobre los recursos hídricos, cambios en el uso del suelo y urbanización de las tierras aledañas a la Reserva, imponen factores de estrés. Para garantizar la permanencia de este ecosistema es necesario desarrollar técnicas apropiadas de conservación y restauración basadas en los patrones ambientales y en la dinámica de la regeneración natural de las especies que conforman el manglar. Este trabajo se concentró en la etapa de reproducción y establecimiento de *A. germinans* ya que la conservación y/o recuperación del ecosistema de manglar depende fundamentalmente del establecimiento exitoso de los propágulos por ser estos más vulnerables a las condiciones ambientales del sitio. El objetivo principal de esta investigación fue determinar factores clave que afectan la propagación, establecimiento y crecimiento de *A. germinans* en costas áridas de zonas subtropicales. Algunas de las preguntas formuladas en este estudio fueron: 1) ¿Es el abastecimiento natural de semillas de *A. germinans* adecuado para la restauración de los bosques en el área donde ha ocurrido mortalidad? 2) ¿Cuál es la máxima salinidad que toleran los propágulos y plántulas de *A. germinans*? 3) ¿Cómo afecta la inundación la retención, la germinación y el establecimiento de los propágulos en el área de estudio?

Con el fin de determinar algunos factores que afectan el desarrollo de *A. germinans* en el área de estudio se registraron los cambios en salinidad e inundación y la regeneración y establecimiento de *A. germinans* bajo condiciones naturales. Se realizaron ensayos de vivero bajo condiciones controladas para evaluar la tolerancia y crecimiento de esta especie a diferentes salinidades. Finalmente, plántulas cultivadas a diferente

salinidad fueron transplantadas al área de estudio y visitadas durante 6 meses. La información anterior se utilizó para:

- (1) Determinar la capacidad o potencial de regeneración de *Avicennia germinans* en sitios con regímenes hidrológicos alterados y sitios bajo condiciones naturales sin intervención humana directa, identificando el estado de las fuentes de semillas y su dispersión.
- (2) Cuantificar la retención de propágulos en el área y la incidencia de factores como la herbivoría en su establecimiento.
- (3) Evaluar el efecto de diferentes tratamientos de salinidad en la sobrevivencia y desarrollo de los propágulos de *A. germinans* bajo condiciones controladas.
- (4) Examinar el establecimiento, desarrollo y sobrevivencia de plántulas transplantadas al sitio de estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La diversidad florística del manglar esta representada por 56 especies de las cuales la mayoría se encuentran distribuidas en la región del Océano Indico y el Pacífico Occidental, solo 10 de ellas se encuentran en el continente Americano y el Caribe. En la región neotropical se encuentran los géneros *Avicennia*, *Rhizophora*, *Laguncularia*, *Conocarpus* y *Pelliciera*; todos estos con excepción de *Pelliciera* se encuentran en Puerto Rico (Shaeffer-Novelli & Cintrón, 1988; Tomlinson, 1986). *Avicennia* cuenta con 4 especies en el hemisferio occidental: *A. germinans*, *A. schaueriana*, *A. bicolor* y *A. tonduzi* siendo *A. germinans* la especie de mayor distribución en las costas áridas de los océanos Pacífico y Atlántico del continente americano (Tomlinson, 1986). Esta especie es la más resistente a condiciones climáticas y edáficas extremas, como climas áridos, y se diferencia de las otras especies por su tolerancia a variaciones en la concentración de sales en sedimentos y cambios en inundación (Lugo & Cintrón, 1975; Shaeffer-Novelli & Cintrón, 1988; Martínez, 1994; Baskin & Baskin, 1998; Jiménez & Lugo, 2000; Toledo *et al.*, 2001; Din *et al.*, 2002). Los aspectos del manglar tratados a continuación se concentran en la especie *A. germinans*.

Zonación del manglar

A. germinans crece en suelos inundados por la marea y en hondonadas de bosques con inundación permanente, sin embargo su mejor desarrollo estructural se observa en bosques ribereños tropicales donde crece en sitios elevados y bien drenados (Jiménez & Lugo, 2000). Otras especies de manglar distribuidas en el Caribe son *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (mangle botón). *R. mangle* crece generalmente en sitios expuestos a la actividad mareal y al flujo de las corrientes; donde los sedimentos están menos consolidados y los niveles de salinidad son menores por el lavado de los ciclos de marea. El mangle negro se encuentra generalmente en la parte posterior a la franja donde crece *R. mangle*. Con frecuencia se encuentran asociadas las especies *A. germinans* y *L. racemosa* en depresiones inundadas donde la salinidad práctica no sobrepasa de 50 (Jiménez & Lugo, 2000). La especie

Conocarpus erectus crece en sitios elevados con suelos arenosos y salinidades menores de 5 (Cintrón & Shaeffer, 1984).

De acuerdo con Cintrón *et al.*, (1978) la zonación del manglar en costas áridas se inicia con el establecimiento de *R. mangle* en la franja más expuesta al ciclo mareal y las corrientes (Fig. 1a); cuando los individuos de esta especie alcanzan su máximo desarrollo actúan como barrera que disminuye el flujo de marea hacia el interior e impide el lavado y dilución de sales. Es en esta zona que se establece *A. germinans* dada su mayor tolerancia a la salinidad (Fig. 1b). Si la salinidad sigue aumentando el crecimiento de *A. germinans* es limitado y solo se desarrollan arbustos de esta especie (Fig. 1c). En muchos casos los árboles y arbustos mueren dando paso a la formación de lagunas hipersalinas y/o salitrales (Fig. 1d).

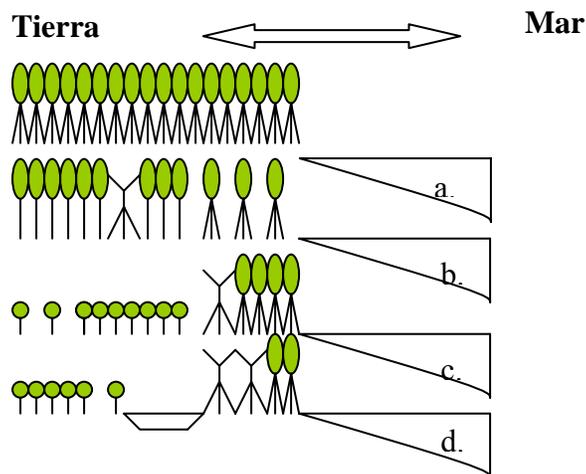


Figura 1. Esquema de la zonación y sucesión del manglar en costas áridas; a. zona de *R. mangle* expuesta a la influencia mareal y a las corrientes, b. *R. mangle* impide el intercambio mareal y la salinidad aumenta, mueren individuos de *R. mangle* y se establece *A. germinans*, c. la salinidad sigue aumentando y *A. germinans* crece en forma arbustiva, d. la salinidad sigue aumentando y ocurre mortalidad de *A. germinans* dando paso a la formación de lagunas hipersalinas y/o salitrales (● *Rhizophora mangle*, ⚰ *Rhizophora mangle* muerto, ○ *Avicennia germinans*). Basado en el modelo conceptual de Cintrón *et al.*, 1978.

La microtopografía, la precipitación y los ciclos de marea afectan la concentración de sales en los sedimentos y el nivel de inundación. Esto junto a la disponibilidad de nutrientes, la producción de semillas, los mecanismos de dispersión, retención, herbivoría y competencia, determinan la distribución y establecimiento de las

especies de manglar (Jiménez & Lugo, 2000). En la mayoría de los casos estos factores están interrelacionados y su efecto no puede ser atribuido a una condición aislada.

Estrategias de reproducción de *A. germinans*

Las especies que conforman los bosques de mangle han desarrollado estrategias particulares de reproducción para garantizar su permanencia. En el caso de *A. germinans* la madurez sexual se alcanza en plantas de 2 a 3 metros de altura, sin embargo en ambientes áridos es posible encontrar individuos que producen semillas y no sobrepasan un metro de altura (Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1984). Las flores son polinizadas por insectos, especialmente abejas (Tomlinson, 1986). *Avicennia germinans* se considera una especie criptovivípara porque su embrión germina dentro del pericarpo cuando todavía esta adherido al árbol, los propágulos flotan al caer y son transportados por el flujo de mareas y corrientes, siendo este el principal mecanismo de dispersión. La flotabilidad es conferida por la porción fibrosa del mesocarpo y en propágulos de *A. germinans* puede durar hasta 82 días (Tomlinson, 1986; Rabinowitz, 1978). Cuando los propágulos entran en contacto con el agua pierden el pericarpo y comienzan a desarrollar la radícula y el primer par de hojas (Tomlinson, 1986; Baskin & Baskin, 1998). De acuerdo a estudios realizados en diferentes lugares del Caribe se encontró que propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* salen del ecosistema en un período de dos semanas mientras que los de *R. mangle*, por su tamaño, permanecen en el sitio por un mes o más, aumentando su posibilidad de anclaje y establecimiento (Rabinowitz, 1978; McKee, 1995 y Lema *et al*, 2003). Existe una correlación positiva entre la retención de los propágulos y la existencia de especies de hábito rastrero como *Batis maritima* y *Sesuvium portulacastrum*, mientras que las ramas y los neumatóforos solo sirven como estructuras de retención temporal (McKee, 1995 y Lema *et al*, 2003).

En manglares de zonas áridas o sometidos a factores de estrés el reestablecimiento de la cobertura vegetal es controlado en gran medida por la producción de flores, la polinización y la producción de semillas (Din *et al*, 2002; Elster *et al*, 1999a; McKee, 1995; Toledo *et al*, 2001).

Herbivoría en el manglar

Algunos consumidores de propágulos y hojas en el manglar son insectos, mamíferos, peces, reptiles, crustáceos y gasterópodos, siendo los dos últimos los más comunes. Crustáceos de la familia Grapsidae son consideradas herbívoros importantes en el manglar y pueden representar un obstáculo en el abastecimiento y reclutamiento de propágulos al limitar su disponibilidad (Baskin & Baskin, 1998, Feller, 1993). El consumo diferencial de propágulos influye en la estructura del manglar disminuyendo la abundancia de los propágulos de mayor preferencia (Lee, 1998). En manglares de Kenia se encontró que la especie *Avicennia marina* fue excluida de la zona intermareal al ser consumidos el 100% de sus propágulos, sin embargo cuando los cangrejos fueron excluidos del área *A. marina* se estableció nuevamente (Smith *et al.*, 1989; Dahdouh-Guebas *et al.*, 1998). Dahdouh-Guebas *et al.*, (1997) sugieren emplear el método de saturación para reforestar áreas de manglar, este método consiste en plantar propágulos en exceso para garantizar que una parte no sea consumida y pueda establecerse. En contraste con el alto consumo de propágulos en los bosques de Kenia, el consumo en Belice fue solo del 35% en *A. germinans* y del 17% en *R. mangle* (McKee, 1995). Estudios realizados en el sur de la Florida (USA), el Caribe, Belice y otros lugares en Centro América sugieren que el consumo de propágulos, a pesar de ser un factor que incide en el reclutamiento y establecimiento de las plántulas, tiene un rol menos importante en manglares neotropicales en comparación con otras regiones tropicales del mundo (Smith *et al.*, 1989; McKee, 1993; McKee & Faulkner, 2000).

La interacción de diferentes especies en el manglar genera una compleja dinámica que contribuye al desarrollo y la productividad de este ecosistema. La bioturbación incide en la microtopografía del terreno, la aireación y la acumulación de nutrientes en el sedimento (Lee, 1998). La actividad de crustáceos de las familias Grapsidae y Ocypodidae, por ejemplo, resulta en un reciclaje alto de materia orgánica que contribuye a la productividad del manglar y representa una fuente de nutrientes para ecosistemas de hierbas marinas y arrecifes coralinos.

Las orugas y caracoles también son herbívoros importantes en el manglar. En manglares del Caribe Colombiano y la isla de Guadalupe (Antillas menores) se encontró que la larva del lepidóptero *Junonia evarete* Cramer incide negativamente en el

crecimiento de las plántulas de *A. germinans* durante la temporada de lluvias (Elster *et al*, 1999b; Saur *et al*, 1999). En la isla de Guadalupe se observó defoliación masiva de *A. germinans* por *J. evarete* y por *Hyblaea parea* después de los huracanes Hugo (1989) y Luis & Marilyn (1995) (Saur *et al*, 1999). McKee & Faulkner (2000) encontraron que el gasterópodo *Melampus coffeus* L. fue el principal procesador de hojas de mangle, especialmente de *A. germinans* y *L. racemosa* en dos sitios diferentes del sur de la Florida, USA.

El contenido de proteínas en propágulos de *A. germinans* es alto y el contenido de taninos bajo en comparación con *R. mangle* y *L. racemosa* (McKee, 1993). Por esta razón en algunas regiones del mundo se usan para consumo humano (Field, 1995). La composición química de *A. germinans* explica en parte el alto porcentaje de herbivoría sobre esta especie y podría representar un aporte de nutrientes importante para los herbívoros que habitan o visitan el manglar (Smith, 1987).

Nutrientes en el manglar

Los nutrientes utilizados por los propágulos en la etapa de desarrollo inicial son proporcionados por la semilla pero cuando estos se agotan y las plántulas ya han desarrollado su sistema radicular el crecimiento puede estar limitado por características del sustrato como textura, variaciones en salinidad, concentración y disponibilidad de nutrientes (Tomlinson, 1986; Baskin & Baskin, 1998).

Los manglares son considerados ecosistemas de alta productividad donde los nutrientes disueltos en el agua y en los sedimentos son reciclados constantemente, sin embargo elementos esenciales para el crecimiento del manglar, como nitrógeno y fósforo, pueden no estar disponibles y limitar su desarrollo (McKee, 1993; Lugo, 1998; Bashan & Holguin, 2002). Las formas predominantes de nitrógeno en la capa superficial de los suelos del manglar son NH_4^+ y NO_3^- . Los ciclos de marea promueven las reacciones de nitrificación y desnitrificación e inciden en la pérdida de nitrógeno en el ecosistema (McKee, 1993). La fijación de N_2 en el manglar es asociada con hojas en descomposición, neumatóforos, corteza de árboles y sedimentos y varía de acuerdo con la época del año siendo afectada por el clima y factores ambientales como la luz y la temperatura (Holguin *et al*, 1992; Toledo *et al*, 1995 y Bashan & Holguin, 2002). El

fósforo es un elemento limitante para la vegetación del manglar ya que los fosfatos suelen precipitarse ante la alta disponibilidad de cationes en estos ambientes (Bashan *et al*, 2000). Feller (1993) observó un crecimiento positivo y un cambio en las características xerofíticas de individuos de *Rhizophora mangle*, en Belice, al ser fertilizados con fósforo.

En ecosistemas de manglar de zonas áridas la disponibilidad de nutrientes depende principalmente del reciclaje y fijación *in situ* ya que los aportes externos son mínimos. Sin embargo en ecosistemas alterados donde por lo general la capa orgánica se ha perdido y la comunidad microbiana ha sido afectada, el reciclaje y la fijación de elementos esenciales es restringida y limita el desarrollo del manglar (Lugo, 1998; Bashan & Holguin, 2002).

Tolerancia del manglar a la salinidad y a la inundación

Las características morfológicas y fisiológicas de *Avicennia germinans* la hacen una especie tolerante a concentraciones altas de salinidad y a fluctuaciones tanto en salinidad como en inundación. Entre los mecanismos fisiológicos están el potencial osmótico alto, la excreción a través de glándulas localizadas en las hojas, acumulación de sales en vacuolas, fijación de sales en células hipodérmicas y succulencia de las hojas (Waisel, 1972; Joshi *et al*, 1984; Sobrado, 1999 y Tuffers *et al*, 2001).

Para sobrevivir en condiciones de inundación y tolerar las bajas concentraciones de oxígeno en los sedimentos las especies de manglar han desarrollado raíces aéreas, aerénquima, lenticelas y neumatóforos que les permiten estabilizarse en terrenos inestables y realizar intercambio de gases. Los neumatóforos encontrados en el mangle blanco y mangle negro, son estructuras que sobresalen del suelo y están adheridas a raíces superficiales conocidas como raíces de cable y que se disponen en forma lateral. La forma, longitud y densidad de los neumatóforos depende de las condiciones ambientales y generalmente sobresalen por encima del nivel de inundación garantizando el intercambio de gases (Schnetter, 2002; Tomlinson, 1986). Estas estrategias de adaptación solo se desarrollan en individuos adultos por lo tanto los árboles jóvenes y plántulas en esta etapa dependen del aerénquima y son más susceptibles a la inundación (McKee, 1993).

Elster *et al*, (1999a) encontraron que la inundación estacional es el factor determinante en la sobrevivencia de propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano, ninguna de las dos especies sobrevivió más de tres semanas cuando la inundación alcanzó 30 cm y cubrió completamente la parte aérea de las plantas. McKee (1993) encontró que *R. mangle* sufre mínimas modificaciones morfológicas y fisiológicas bajo condiciones anaeróbicas en comparación con *L. racemosa* y *A. germinans*, las cuales presentan disminuciones significativas en la concentración de oxígeno en las raíces, en la tasa de respiración y en la extensión y morfología de las raíces, indicando su tolerancia limitada a condiciones de inundación extremas. Sin embargo Pezeshki *et al*, (1989) observaron un efecto positivo de la inundación en el desarrollo del área foliar total y en el incremento en el peso seco de plántulas de *A. germinans*.

Las especies que se encuentran en el manglar son por lo general halófitas facultativas. Esto significa que aunque pueden tolerar salinidades entre 0 y hasta tres veces la salinidad del agua de mar, no dependen de ello para sobrevivir (Mallery and Teas, 1984; Tomlinson, 1986). Sin embargo algunos estudios muestran que salinidades por debajo de 35 pueden influir positivamente en el crecimiento de *Rhizophora* y *Avicennia* e incluso se ha encontrado que la especie *Avicennia marina* requiere de los iones de Na^+ y Cl^- para un desarrollo óptimo (Ball, 1988; Tomlinson, 1986; Stern and Voigt, 1959). Pocos estudios acerca de la tolerancia a la salinidad de especies neotropicales de manglar están disponibles. Entre estos se encuentran el de McMillan (1975) quien encontró que la tolerancia de *A. germinans* y *Laguncularia racemosa* estaba relacionada con la textura y composición del sustrato. Este autor comprobó que ambas especies sobrevivieron en salinidades extremas de 140 y 170 cuando fueron plantadas en suelos con un porcentaje de arcilla de entre 7-10% y su tolerancia disminuyó significativamente en suelos de textura arenosa. McKee (1993) encontró que *A. germinans* fue la especie que más biomasa total acumuló en un experimento de vivero de 17 semanas donde las plantas estuvieron en salinidades entre 0 y 60. La altura de los propágulos de *A. germinans* fue menor en salinidades de 45 y 60 y el diámetro del tallo disminuyó a partir de salinidades de 15 al igual que el número y el tamaño de las hojas.

Sobrado (1999) encontró que la actividad fotosintética de *A. germinans* es inhibida en un 37% cuando la salinidad alcanza valores de 40 y las plántulas se exponen a la radiación solar del medio día.

Mortalidad del manglar

La mortalidad parcial o masiva en árboles del manglar ha sido observada en diferentes continentes y obedece a causas como: (1) la dinámica natural del ecosistema y sus procesos de zonación, (2) el efecto de fenómenos atmosféricos y (3) la introducción de tensores de tipo antropogénico.

Los vientos que acompañan a tormentas y huracanes ocasionan la mortalidad del manglar al derribar árboles y aumentar la carga de sedimentos y el nivel de inundación restringiendo el funcionamiento de los neumatóforos. Sin embargo en algunos casos estos fenómenos atmosféricos pueden tener un efecto positivo al abrir los canales de circulación en estuarios disminuyendo la salinidad de los suelos y haciendo las condiciones más propicias para el desarrollo del manglar (Cintrón *et al*, 1978). Estos autores mencionan que los períodos de mortalidad y expansión del manglar pueden ser episodios cíclicos influenciados por eventos climáticos por lo que salitrales y lagunas hipersalinas son parte integral de estos ecosistemas y por lo tanto deben ser conservados.

Los casos donde la mortalidad del manglar es inducida por la actividad antropogénica son frecuentes. En el bosque de Piñones, Puerto Rico, murieron 0.15 km² de mangle negro por el aumento en la inundación y la falta de circulación del agua después de que se construyó un canal de drenaje en 1979 (Jiménez *et al*, 1985). Otro caso es el de un manglar de condiciones semiáridas en el lago Maracaibo, Venezuela, donde el cambio en los ciclos de precipitación y la disminución de agua dulce por la actividad agrícola y el consumo humano propiciaron aumento en la mortalidad (Medina *et al*, 2001). Finalmente, esta el caso de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el Caribe Colombiano, donde murieron 300 km² de manglar por la hipersalinización de los suelos ocasionada por cambios en el sistema hídrico después de la construcción de una carretera (Elster *et al*, 1999b).

El equilibrio y funcionamiento de los manglares es fácilmente alterado cuando se inducen cambios en las condiciones ambientales. Por esta razón las actividades de origen

antrópico deben ser planeadas y ejecutadas cuidadosamente con el fin de reducir el impacto negativo sobre estos ecosistemas.

Restauración de los bosques de manglar

Para compensar los daños y pérdida de valores funcionales de los manglares se han realizado programas de restauración en diferentes partes del mundo, obteniendo resultados preliminares positivos en la mayoría de los casos (Botero & Salzwedel, 1999; Elster *et al*, 1999a y Toledo *et al*, 2001). En el continente americano se han desarrollado diferentes técnicas de propagación principalmente con *Rhizophora* spp., mientras el manejo de especies como *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* ha sido menos explorado.

Aunque diversos esfuerzos se han realizado para restaurar áreas de manglar existe poca documentación de estas experiencias y en especial se desconocen los resultados obtenidos en estos proyectos. Lewis (1990) menciona algunos proyectos realizados en El Caribe: en la isla de Santa Cruz, Islas Vírgenes, donde se sembraron 3.8 Ha de mangle rojo y negro y se obtuvo una sobrevivencia de 40% y 2 %, respectivamente; y en Vieques, Puerto Rico, donde ocurrió revegetalización natural cuando se activo la circulación mareal al abrir canales y lagunas. Este autor presenta una lista donde aparecen otros proyectos realizados en Puerto Rico pero no ofrece detalles de la metodología y de los resultados obtenidos.

En Cuba se reportó 88% de sobrevivencia en plántulas transplantadas de *R. mangle* y aunque no se tienen datos de sobrevivencia para *L. racemosa*, *A. germinans* y *C. erectus* se reportan plantaciones con 15, 20 y 5 años de edad, respectivamente (Milian, 1996). En Islas del Rosario, Caribe Colombiano, el 35% de plántulas transplantadas de mangle rojo sobrevivieron por más de 8 meses (Bohórquez & Parda, 1995).

Bajos porcentajes de sobrevivencia obtenidos en proyectos de restauración han sido atribuidos a la remoción física de los propágulos ocasionada por la erosión, acumulación de residuos, herbivoría y siembra en sitios muy elevados (Lewis, 1990). La germinación y crecimiento de *A. germinans* bajo condiciones controladas generalmente es alta pero la sobrevivencia de las plántulas transplantadas al campo suele ser baja (Elster *et al*, 1999a; McKee, 1993). A pesar de esto en un proyecto de reforestación con mangle negro en la

Laguna de Balandra (México), una zona árida con menos de 150 mm de precipitación anual, el 74% de 555 plántulas sobrevivió por más de 2 años. En contraste la regeneración natural en la zona fue de 48 plántulas en 350 m² en un período de seis años (Toledo *et al*, 2001). Sin embargo los autores no describen las condiciones edáficas como el nivel de inundación y la concentración de salinidad del lugar de estudio.

Ellison and Farnsworth (1993) encontraron que plántulas de *R. mangle* y *A. germinans* transplantadas en la zona intermareal de un sitio no disturbado en Belice, presentaron sobrevivencias de 69 y 47%, respectivamente, después de un año. Los autores infieren de los resultados que las bajas densidades de propágulos en Belice son el resultado de la dispersión limitada y la baja retención de propágulos.

La restauración del manglar, además de implicar el reestablecimiento y sobrevivencia de la vegetación también conlleva la producción de materia orgánica, el establecimiento de cadenas tróficas, el flujo de carbono y energía así como el reciclaje de nutrientes. Estas funciones deben ser reestablecidas y no necesariamente se logran cuando se recupera la cobertura vegetal (Kusler & Kentula, 1989; McKee & Faulkner, 2000). Aunque son numerosos los estudios que analizan la dinámica ecológica, biogeoquímica y geomorfológica del manglar al igual que las publicaciones acerca de la creación y restauración de humedales, pocos son los estudios enfocados en la ecología de restauración del manglar (Lugo, 1998). Lugo (1998) plantea la necesidad de estudiar ecosistemas degradados para identificar estrategias adecuadas de restauración y protocolos que evalúen su funcionamiento.

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del Área de Estudio

Localización

El estudio se realizó en la Reserva Nacional de Investigación Estuarina Bahía de Jobs (JOBANERR) localizada en la costa sureste de Puerto Rico entre los municipios de Salinas y Guayama (Fig. 2). La reserva ocupa una superficie de 11 km², está compuesta por un sistema de cayos y arrecifes coralinos que protegen la bahía contra el efecto erosivo de las corrientes y el viento; además comprende una porción terrestre formada por un complejo de canales y lagunas bordeadas de mangle (Pérez, 1995; Laboy, 2001).

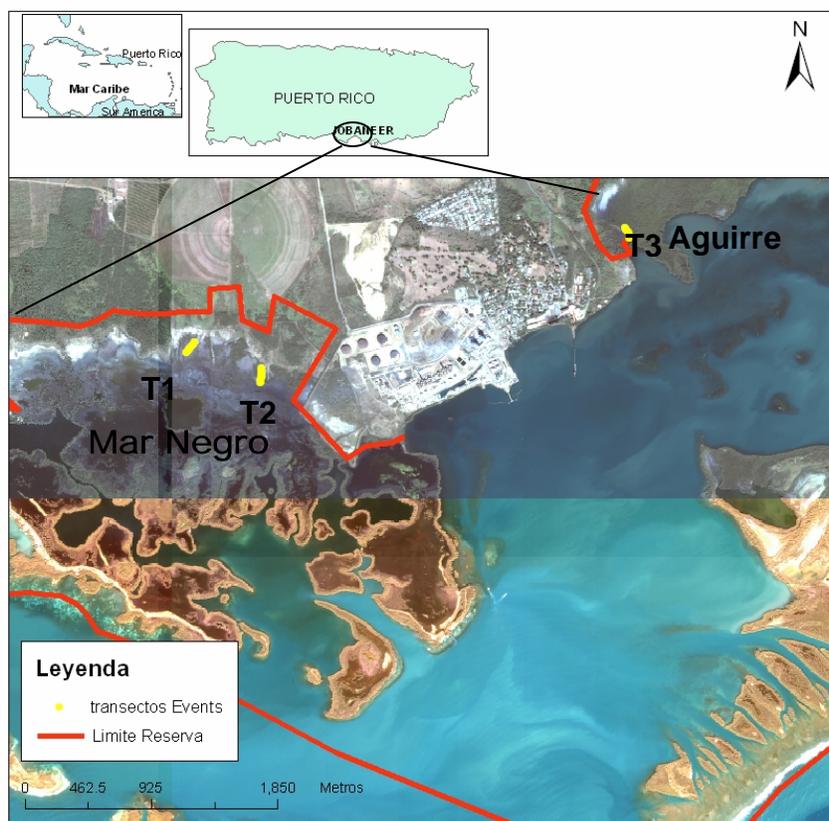


Figura 2. Localización general del área de estudio. Imagen de satélite IKONOS 2002 proporcionada por PASCOR, Universidad de Puerto Rico. El límite de la reserva corresponde a capa de información suministrada por La Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobs. Los transectos corresponden a puntos tomados en campo con Sistema de Posición Global (GARMIN, ETREX).

Clima

De acuerdo con la clasificación de Holdridge (1967) el área de estudio corresponde a la zona de vida de bosque seco subtropical. La temperatura ambiental promedio anual es de 26° C y oscila entre 25-27° C (NOAA, 2004, <http://www.cirrus.dnr.state.sc.us/cgi-bin/sercc/cliMONtpre.pl?pr0152>). La evaporación anual promedio es de 1,178 mm (Berríos *et al*, 1981). La precipitación anual oscila entre 514-1644 mm y el promedio anual es de 1044 mm. La temporada seca comprende los meses de diciembre a abril y la temporada húmeda los meses de mayo a noviembre coincidiendo con la temporada de tormentas tropicales.

Las tormentas tropicales y huracanes son factores importantes en la dinámica climática de Puerto Rico y afectan los niveles de precipitación. La Bahía de Jobos ha sido afectada directamente por 6 huracanes: San Roque en 1893, San Ciriaco en 1899, San Felipe en 1928, Nicolás en 1931, San Ciprián en 1932 y Santa Clara en 1956 (Berríos *et al*, 1981) y Georges en 1998 (Sharpe, 1999) (Fig. 3). Aunque la trayectoria del huracán George fue al norte de la reserva Sharpe (1999) reportó el daño del 90% del dosel del bosque en una de sus estaciones de muestreo ubicada dentro de la Reserva.

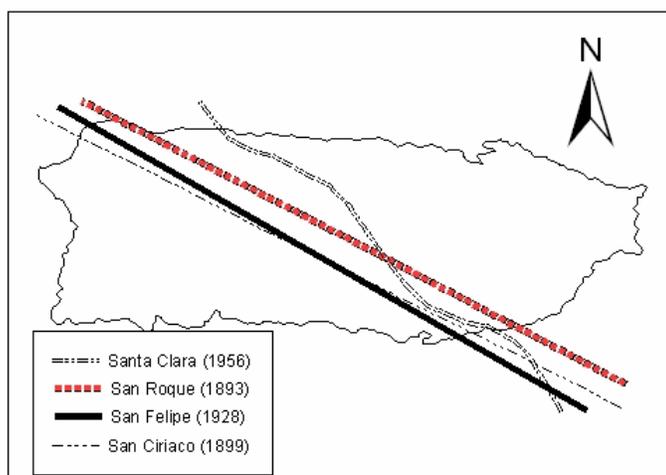


Figura 3. Trayectoria de Huracanes y Tormentas Tropicales que han pasado cerca a la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Tomado y modificado de Berríos *et al*, (1981).

Mareas

Las mareas en el Caribe están dentro del rango micromareal, entre 10 a 20 cm e incluso una porción localizada entre el sur de Puerto Rico y Haití experimenta mareas por debajo de los 10 cm de amplitud. Estas mareas son mixtas semidiurnas o mixtas diurnas sin embargo una gran área entre Puerto Rico y Venezuela presenta mareas diurnas. A pesar de la baja amplitud mareal se han registrado corrientes en aguas de poca profundidad que indican la importancia y en algunos casos la dominancia de estos movimientos mareales (Kjerfve, 1981).

En la costa sur de Puerto Rico la marea es principalmente diurna y durante los meses más húmedos del año se observan mareas de comportamiento mixto (Kjerfve, 1981). La estación más cercana para la cual se tiene la predicción de mareas es para el municipio de Arroyo con un valor de marea promedio que va desde 18 cm por debajo del nivel del mar hasta 12 cm por encima del nivel del mar, para un rango mareal promedio de 30 cm. La marea más baja ocurre a principios del año coincidiendo con el inicio de la época más seca y las mareas más altas se presentan en el mes de octubre coincidiendo con la época más lluviosa del año (Laboy, 2002).

Suelos

Los sedimentos de la zona provienen de depósitos aluviales, sedimentos de playa (arenas) consolidados y no consolidados y sedimentos de litoral pertenecientes al Pleistoceno; son por lo general suelos mal drenados formados principalmente por compuestos húmicos (USGS, 1968). En el mapa geológico (Fig. 4) simplificado por McClymonds & Díaz (1972) los suelos se clasifican en cuatro categorías: (1) lecho de rocas principalmente volcánicas; (2) aluvial, (3) depósitos de pantano y (4) Roca Caliza.

De acuerdo con la evaluación del Servicio de Conservación de Suelos Federal (1977) en el área predominan salitres, descritos como áreas afectadas por las mareas y que algunas veces se encuentran desprovistos de vegetación debido a la alta concentración de sales, y pantanos de marea cubiertos generalmente por manglares e inundados por el mar donde la textura del suelo varía ampliamente.

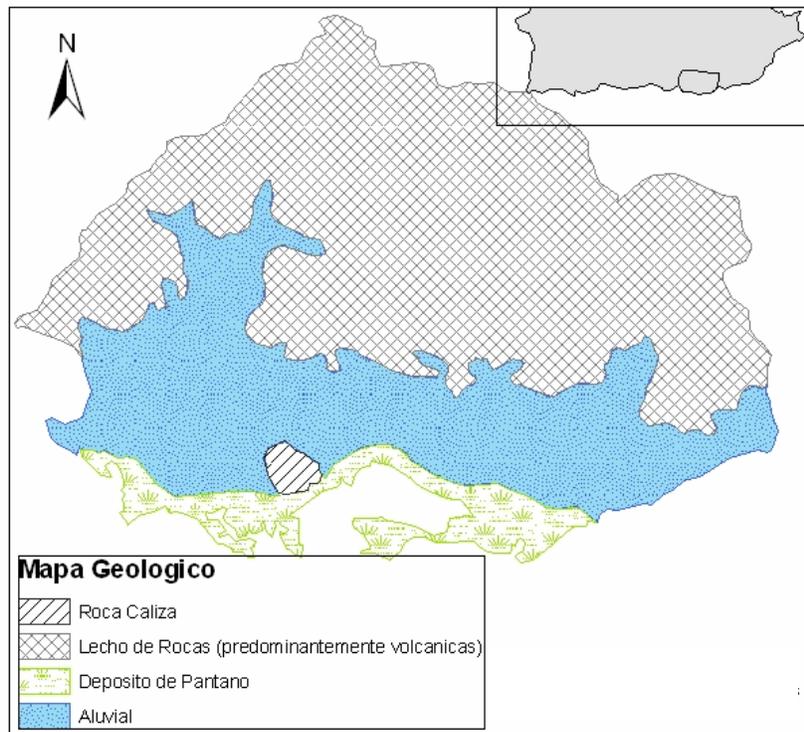


Figura 4. Mapa Geológico del Área de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Tomado de McClymonds & Díaz (1962).

Hidrología

La Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos esta ubicada entre las cuencas de drenaje de los ríos Lapa-Majada y Guamaní. Sus tributarios dependen de las época de lluvia y solo un bajo porcentaje de la precipitación que ocurre en las montañas llega al plano costero. Cuando la precipitación es abundante se recarga el acuífero localizado en el plano costero del sur que abastece de agua la región, sin embargo cuando la lluvia es excesiva la mayor parte del agua no se absorbe y drena hasta el mar (McClymonds & Díaz, 1962). En el área de Mar Negro (Fig. 2) no drena directamente ninguno de estos ríos o sus tributarios, por lo tanto el balance de agua de esta área al igual que en el sector Aguirre depende de la precipitación local, del nivel de la recarga del acuífero y de la inundación mareal.

La hidrología del área de estudio ha sido modificada de acuerdo con los requerimientos de las prácticas agrícolas. En 1914 cuando comenzó el auge del cultivo de la caña de azúcar se construyeron canales y estaciones de bombeo para drenar el agua

superficial y disminuir el nivel freático de estos suelos. Los canales de irrigación transportaban agua superficialmente desde los reservorios de Carite y Patillas y algunos tramos de los ríos localizados en la zona fueron canalizados con el mismo fin. Estas prácticas de riego abastecían de agua dulce todo el área (Berrío *et al.*, 1981). Para la década de los noventa, cultivos de frutas y vegetales reemplazaron la caña de azúcar en la zona y esto requirió implementar nuevas técnicas de riego. Se instalaron pivotes y sistemas de riego por goteo que disminuyeron el flujo de agua de escorrentía. Adicionalmente, el aumento de urbanizaciones y el desarrollo industrial en el área han aumentado la presión sobre el acuífero ocasionando un impacto significativo en la disponibilidad de agua en la región (Gómez, 1991, Quiñones, 1991; Santiago, 1995; Quiñones *et al.*, 1997; Morris, 2000).

Vegetación

La historia de deforestación y reemplazo por cultivos agrícolas en la isla data de tiempos de la conquista. Como resultado de estas actividades para finales del siglo XIX el 65% de la isla había sido deforestado y para principios del siglo XX la cobertura de bosques había sido reducida al 6% (Koenig, 1953).

Actualmente en las áreas circundantes a la reserva se encuentran cultivos agrícolas, pastos, áreas de humedales, bosques secundarios y manglares. Estos últimos representan el principal tipo de cobertura vegetal en la reserva donde se encuentran las especies *L. racemosa*, *C. erectus*, *A. germinans* y *R. mangle*, siendo las dos últimas las más abundantes (Pérez, 1995; Laboy, 2001). La Sociedad de Historia Natural de Puerto Rico determinó que para 1972 existía un área de 4 km² de manglar en la zona, de los cuales 2.13 km² correspondían a árboles con alturas entre 4.5-10 m y el resto a individuos de poca altura afectados por déficit hídrico y altas concentraciones de salinidad en el suelo (Berríos *et al.*, 1981). En la década de los setentas se reportó en el área de Mar Negro mortandad masiva de árboles de mangle atribuido a la interrupción del flujo de agua e hipersalinización de los suelos como resultado de la oclusión de los canales de comunicación con el mar (Cintrón *et al.*, 1978).

Berríos *et al.* (1981) reportaron 1.05 km² de manglar muerto localizado en la sección noreste de Mar Negro. Entre los diferentes factores de estrés que pudieron

ocasionar esta mortandad se menciona la contaminación causada por lagunas de oxidación y retención construidas en el límite entre los terrenos de la Autoridad de Tierras y el área de la Reserva y un derrame de aceite ocurrido a finales de la década de los setenta que pudo afectar el sector este de Mar Negro. Ruíz & Lugo (1998) reportan una tasa de mortalidad anual para bosques de esta zona entre 8.7 y 15.9 % como resultado de altas salinidades, dinámica natural del bosque y disturbios ocasionados por huracanes y tormentas.

Esta investigación se concentró en el área de Mar negro y se usó como área de control un bosque dominado por *A. germinans* localizado en los terrenos ocupados anteriormente por la central Aguirre (Fig. 2). En Mar Negro se observan troncos de árboles muertos en pie o derribados por el viento con alturas de 10 m en promedio; quedan pocos árboles vivos de esta altura y su desarrollo foliar es limitado. También se observa en toda el área arbustos dispersos de 1.5 m de altura promedio y aunque se encuentran árboles con flores y frutos durante todo el año la época de mayor fructificación ocurre de junio a octubre. Durante los meses más secos del año las flores se secan en los árboles antes de ser polinizadas. En el área de Aguirre los árboles tienen una altura promedio de 6 m y producen semillas entre los meses de junio a septiembre principalmente (Observaciones personales realizadas en campo durante el período de muestreo octubre 2003-febrero 2005). Este sitio recibe la descarga de la quebrada Coqui (comunicación personal, Biólogo Reserva Nacional de Investigación Estuarina Bahía de Jobs) lo cual determina los constantes niveles de inundación y la baja concentración en la salinidad.

3.2 Colección y Análisis de Datos

Para desarrollar los objetivos propuestos en el estudio la metodología se dividió en 4 partes diferentes. La primera consistió en determinar el cambio en la cobertura del manglar entre 1963 y el 2002. La segunda parte buscaba estudiar las variaciones en salinidad, inundación, temperatura, fenología, reclutamiento, regeneración natural y establecimiento de los propágulos en el área de estudio. La tercera parte fue llevada a cabo en las instalaciones del Departamento de Ciencias Marinas en Isla Magueyes (La Parguera, Lajas) donde se implementó un vivero con el fin de evaluar la sobrevivencia y

crecimiento de propágulos de *A. germinans* en diferentes concentraciones de salinidad bajo condiciones controladas. La cuarta y última parte consistió en determinar el establecimiento de plántulas transplantadas en el área de estudio y cultivadas previamente en el vivero.

Cambios históricos en la cobertura de manglar

Para determinar cambios en el área de cobertura de manglar se analizaron fotografías aéreas en escala 1:20.000 de los años 1963, 1977, 1985 y 1995, adquiridas en la oficina de Autoridad de Carreteras de Puerto Rico. También se utilizó la imagen de satélite Ikonos del año 2002 suministrada por el Laboratorio PASCOR de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Con excepción de la fotografía aérea de 1995 y la imagen IKONOS las fotografías estaban en blanco y negro. Las fotografías se convirtieron a formato digital utilizando un escáner de resolución 600 DPI, luego fueron georeferenciadas en el sistema de información geográfica ArcGIS (Versión 8.2) con base en el sistema de coordenadas de la imagen Ikonos (*State Plane, NAD 83, Puerto Rico Virgin Islands*). Posteriormente utilizando ArcGIS se delimitaron las áreas de manglar para cada año analizado y se estimó el área de cobertura de manglar utilizando la herramienta *Xtools* para ArcView.

Capacidad de regeneración natural y establecimiento de *A. germinans*

Para determinar la capacidad de regeneración de *A. germinans* en el sitio de estudio se establecieron tres transectos de 100 metros de longitud, perpendiculares a la línea de costa. Dos de ellos en el área de Mar Negro, designados como transecto 1 (T1) entre las coordenadas N 17° 57' 5.71'', W 66° 14' 53.87'' y N 17° 57' 03.21'', W 66° 14' 55.89'' en el sector oeste de Mar Negro cerca a la vereda interpretativa de Bosque Jagüeyes y transecto 2 (T2) entre las coordenadas N 17° 56' 59.51'', W 66° 14' 37.26'' y N 17° 56' 56.14'', W 66° 14' 37.50'' en el sector este de Mar Negro cerca a la Central Termoeléctrica. El transecto 3 (T3), área control, está ubicado cerca a Central Aguirre en las coordenadas N 17° 57' 32.42'', W 66° 13' 06.47'' y N 17° 57' 32.99'', W 66° 13' 06.59'' (Fig. 5). A lo largo de cada transecto se establecieron 5 estaciones de muestreo de 2x2 metros. Las estaciones fueron ubicadas sobre el transecto en puntos escogidos al

azar, la primera estación de cada transecto esta ubicada a una distancia entre 0 y 20 metros a partir del extremo norte del transecto, la segunda corresponde a una distancia entre 20 y 40 m, la tercera a una distancia entre 40 y 60 m, la cuarta a una distancia entre 60 y 80 m y la quinta estación a una distancia entre 80 y 100 m. Las estaciones fueron denominadas con letras de la *a* hasta la *e*; *a* corresponde a la estación localizada en la parte norte del transecto y *e* la estación del extremo sur (más cerca al mar). Los transectos fueron visitados cada dos meses desde diciembre de 2003 hasta noviembre de 2004. En cada estación se marcó e identificó un punto como centro, a partir del cual se midió 1 m de longitud en ángulos de 90°.

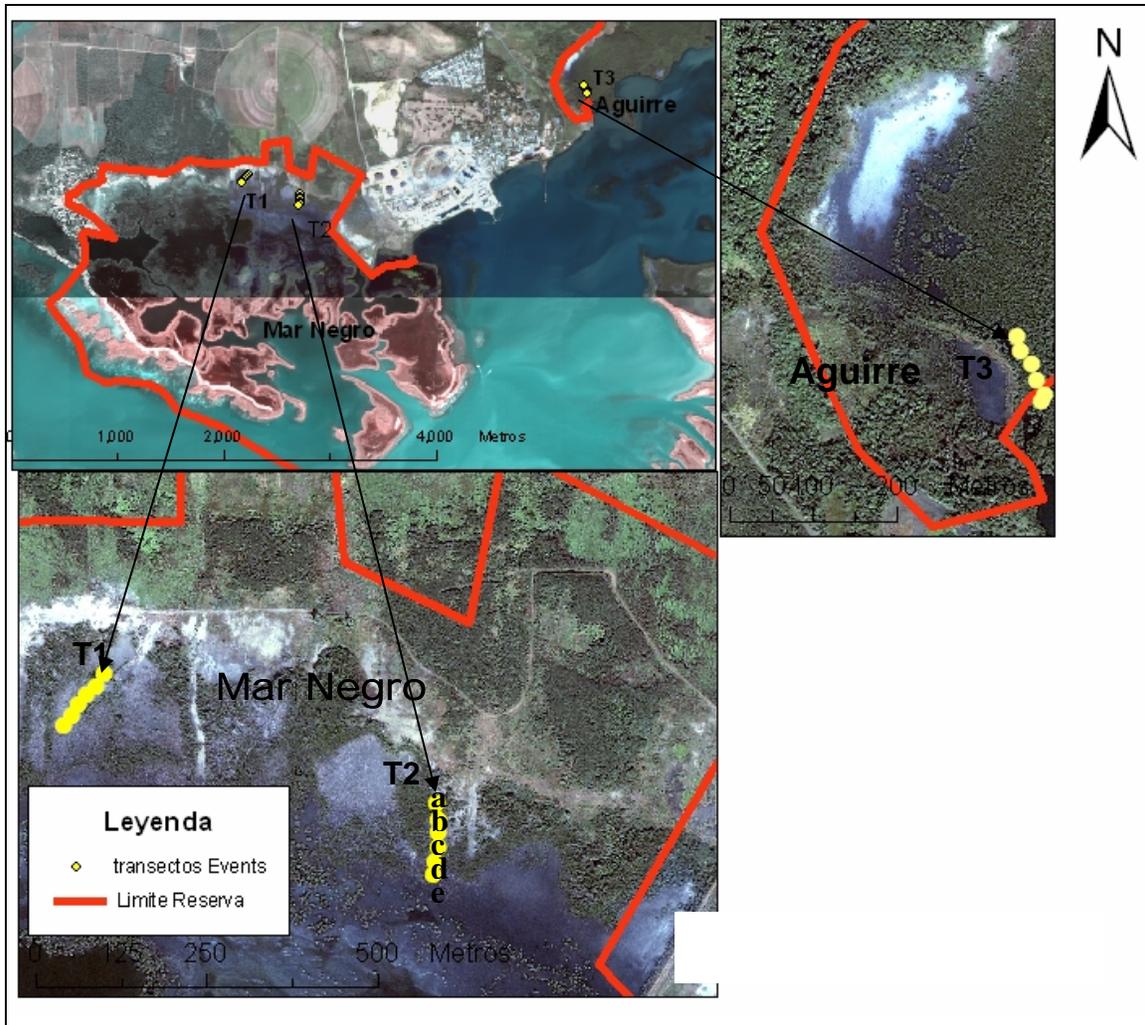


Figura 5. Área de estudio. Se muestran la localización de los transectos y una aproximación de las estaciones estudiadas. Las letras de la (a)-(e) en el transecto 2 indican la designación y posición de cada estación a lo largo del transecto. Esta clasificación se utiliza para los transectos 1, 2 y 3. Esta Figura corresponde a la imagen de Satélite IKONOS (2002) modificada, a información colectada en campo con GPS y a capa de información suministrada por la Administración de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.

Factores Físico-Químicos

Dentro de los 4m² ocupados por cada estación se midió temperatura del suelo, salinidad del agua de inundación y nivel de inundación. Para determinar la temperatura se usó un termómetro de suelo marca PSG-Perkasie con precisión de 0.2°C, el cual fue introducido en los primeros 3 cm del suelo. Para comparar las variaciones diarias de temperatura entre transectos se utilizaron termómetros tipo “HOBO Water Temp Pro”

(Onset Computer Corporation). Se utilizó un termómetro por transecto y las medidas de temperatura fueron registradas cada 10 minutos durante diez días. La salinidad expresada en la escala de salinidad práctica (conocida en inglés por las letras PS, practical salinity) fue medida con un refractómetro portátil (VEE GEE A366ATC) y para determinar la profundidad de la inundación se usó una cinta métrica. Con el fin de comparar el nivel de inundación con la altura de la marea y la precipitación se graficaron los valores de inundación promedio medidos en la estación (e) de cada transecto (por ser la estación más cercana al mar) medidos en cada visita de campo, se graficó el valor mensual de precipitación para cada visita de campo y el valor de marea del día de la visita obtenido de la predicción de mareas disponible para la Estación Arroyo usando el programa *Tides and Currents* para Windows Ver. 2.5 (Copyright © 1991-1994 by Jeffrey Sax and Distributed by William Bell, Inc.). Se escogió esta estación por ser la más cercana al área de estudio.

Se colectaron sedimentos en los primeros 5 cm del suelo, se guardaron en bolsas plásticas y se llevaron al laboratorio donde se refrigeraron y analizaron en un período de 48 horas. Para determinar el contenido de humedad se pesó una cantidad conocida de sedimento y se dejó durante 24 horas a una temperatura constante de 60°C. Posteriormente la muestra fue pesada de nuevo y por diferencia de peso se calculó el porcentaje de humedad. Para calcular la salinidad en los sedimentos se siguió el método de Elster *et al*, (1999a). En muestras de sedimentos de épocas extremas; época de mayor inundación (diciembre) y época de mayor sequía (mayo) se determinó el contenido de carbono total (CT), nitrógeno total (NT) y fósforo total (FT). El análisis de fósforo total fue realizado en el laboratorio de Biogeoquímica del Departamento de Ciencias Marinas, de la Universidad de Puerto Rico siguiendo el método descrito por Koch & Madden (2001) y Parsons *et al* (1984). Los análisis de carbono y nitrógeno total fueron realizados en el laboratorio de Química Analítica del Instituto de Ecología de la Universidad de Georgia en *Athens* por medio de un analizador de CHN (Fisons Instrument NA 11500).

Factores Bióticos

Densidad de individuos de A. germinans en estaciones de muestreo

Los árboles, arbustos y plántulas dentro de cada estación fueron marcados con cinta reflectiva y en cada visita se midió la altura y el diámetro de cada individuo (el diámetro solo se midió en individuos mayores de 1.3 m de altura). También se describió el estado fitosanitario (presencia o ausencia de insectos, hongos, enfermedades, hojas perforadas, color de las hojas). Cuando se encontraron propágulos y/o plántulas nuevas, estas fueron marcadas y medidas e ingresadas en el registro para ser medidas nuevamente en las visitas siguientes.

Retención y establecimiento de propágulos de A. germinans

Para determinar el nivel de retención y capacidad de establecimiento y desarrollo de propágulos en el área y la incidencia de factores como la herbivoría se instalaron trampas construídas con malla plástica, con cuadrícula de 1 cm². Las dimensiones de las trampas utilizadas fueron 1m de largo por 1m de ancho por 20 cm de alto (Fig. 6a y 6b). Las trampas fueron instaladas en dos sitios de cada transecto con diferente nivel de inundación. Una de ellas fue instalada en la parte norte del transecto donde el nivel de inundación es menor en comparación con la parte sur, donde se instaló la segunda. Dentro de las trampas se colocaron 50 semillas de longitud entre 1 y 2 cm colectadas el día del inicio del experimento en los árboles circundantes y seleccionadas para eliminar semillas perforadas. Las trampas fueron colocadas por primera vez el 4 de enero del 2004 y monitoreadas a los 30 días. Posteriormente en junio del mismo año se repitió el experimento haciendo seguimiento de las semillas cada dos días durante 30 días. En septiembre se repitió nuevamente el experimento pero esta vez se utilizaron trampas de forma cúbica de 60x60x60 cm (Fig. 6d). Se colocaron 2 trampas en dos niveles diferentes de inundación de cada transecto (al norte y sur de cada transecto), un total de 4 trampas por transecto. En cada sitio se colocó una trampa completamente cerrada y otra con la base y la parte superior abiertas, esto con el fin de eliminar la posibilidad de perder semillas por causa de la inundación pero al mismo tiempo permitiendo la interacción con

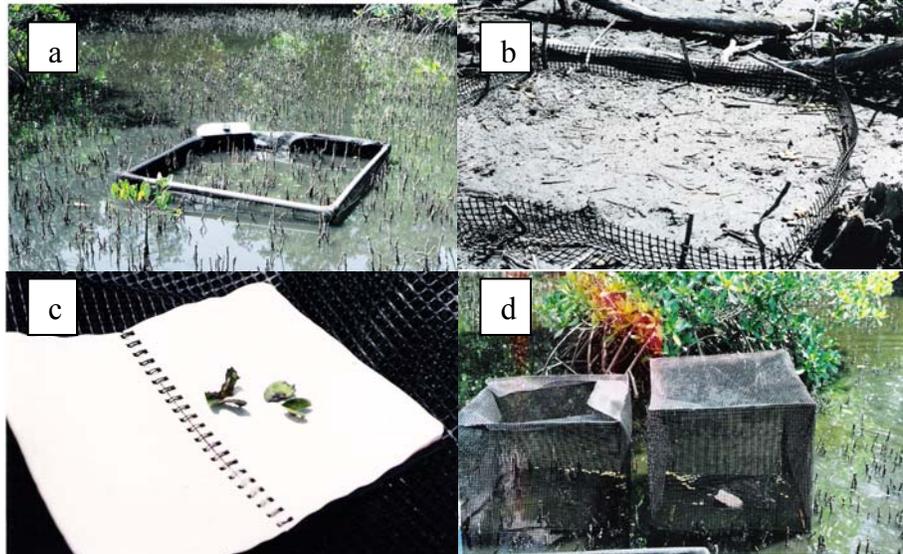


Figura 6. Trampas de Retención de semillas. (a) y (b) corresponden a las trampas colocadas en enero y junio en diferentes niveles de inundación. (c) semillas con marcas de herbivoría. (d) trampas cúbicas utilizadas entre septiembre y diciembre.

otros organismos en el área. En cada trampa se colocaron 45 semillas de *A. germinans* colectadas en el área de estudio. Estas trampas fueron monitoreadas cada dos semanas por un período de cuatro meses entre septiembre y diciembre de 2004 y en cada visita se registró el número de semillas, el número de propágulos germinados con hojas y raíces, el número de semillas mordidas o secas y el número de plántulas establecidas. Esta información fue utilizada para determinar la tasa de pérdida de semillas durante diferentes épocas del año, en diferentes mallas y diferentes niveles de inundación.

Estimado de producción de semillas de A. germinans en algunos sitios de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos

En junio de 2004 se instalaron 10 colectores de semillas debajo de la copa de árboles y arbustos de *A. germinans* con el objetivo de obtener un estimado de la producción de semillas en árboles localizados en diferentes áreas de la Reserva.

Los colectores fueron contruidos con tubos de PVC y tela de sombrío para vivero, con un área de 1 m². Tres colectores fueron colocados en el control transecto³ y dos en los transectos 1 y 2. Tres colectores más fueron instalados en la parte norte de Mar Negro (límite de la reserva). Durante el primer mes fueron visitados cada dos días. Luego se

revisaron cada dos semanas hasta el mes de octubre y luego cada 4 semanas hasta diciembre. Las semillas encontradas dentro de los colectores fueron contadas y retiradas en cada visita. Dos colectores quedaron inutilizados durante el muestreo. Uno de ellos, localizado en la parte norte de Mar Negro, se encontró destruido en agosto y el segundo, ubicado en el transecto 2, quedó inservible después del paso de la tormenta Jeanne. Esta información fue utilizada para estimar la producción de semillas en la Reserva y comparar la producción de semillas en las áreas estudiadas.

Sobrevivencia y desarrollo de propágulos de *A. germinans*

Sobrevivencia y desarrollo de A. germinans en diferentes salinidades bajo condiciones de vivero

Para evaluar la sobrevivencia y el desarrollo de plántulas de *A. germinans* y su tolerancia a diferentes salinidades, se cultivaron plántulas bajo condiciones controladas de vivero. Semillas de *A. germinans* colectadas de árboles y arbustos del área de estudio fueron seleccionadas eliminando semillas perforadas o con alguna señal de deterioro, luego fueron sumergidas en agua de mar durante 48 horas con el fin de retirar el pericarpo. Posteriormente se sembraron en bandejas de germinación con arena de playa como sustrato. A las cuatro semanas, cuando los propágulos alcanzaron alturas promedio de 10 cm, se sembraron en bolsas plásticas de 20x10 cm utilizando como sustrato tierra obtenida en el vivero (Siddiqui *et al*, 1993). Tres mesas fueron inundadas con agua de mar y su salinidad fue ajustada con sal de mar para alcanzar salinidades de 35, 65 y 90, respectivamente. A cada mesa se adaptó una válvula para controlar el nivel de agua de modo que cualquier pérdida por evaporación se ajustara automáticamente. Finalmente, 30 plántulas fueron introducidas en cada mesa. La altura de las plántulas fue medida al inicio del experimento y luego cada semana durante 4 meses. La salinidad se midió semanalmente con un refractómetro y cuando cambió por diluciones causadas por la precipitación se ajustó añadiendo más sal. Con la información obtenida se determinó el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas en cada salinidad y la salinidad óptima para su sobrevivencia y crecimiento.

Establecimiento de Plántulas de A. germinans transplantadas en el área de estudio

Con el fin de evaluar el establecimiento de plántulas de *A. germinans* en condiciones de campo las plantas que sobrevivieron a los tratamientos de salinidad en el vivero fueron transplantadas al sitio de estudio. Los criterios para la selección de los sitios de transplante fueron el nivel de inundación y la concentración de la salinidad. Entre los meses de junio y agosto previos al transplante se registró una salinidad promedio en el agua de inundación de 60 en el área sur del transecto 2 en Mar Negro y de 20 en Aguirre. La inundación en ambos sitios se mantuvo alrededor de 20 cm excepto para principios de mayo de 2004 cuando el terreno estuvo seco. Los sitios seleccionados se encontraban libres de restos vegetales tales como troncos de árboles muertos y raíces. El primer lugar de transplante está localizado al sur del transecto 2 en Mar Negro en los sitios con coordenadas N 17°56' 54.9'', W 66°14' 37.5''; N 17°56' 54.1'', W 66°14' 38.2'' y N 17°56' 54.5'', W 66°14' 38.6''. El segundo lugar está cerca del transecto 3 en el área de control (Central Aguirre) en los puntos N 17°57' 30.3'', W 66°13' 06.3''; N 17°57' 29.9'', W 66°13' 06.3'' y N 17°57' 29.5'', W 66°13' 05.9''.

En cada sitio se sembraron 25 plántulas provenientes de tres concentraciones diferentes de salinidad (0, 35 y 65) y divididas en tres grupos. Dichos grupos estuvieron separados por 10 metros entre sí y correspondieron a 3 tratamientos diferentes de exposición solar. En el tratamiento 1 las plántulas fueron sembradas al lado Este de un árbol de 2 m de altura de *A. germinans*, esto con el fin de que recibieran sol durante la mañana y sombra en la tarde. En el tratamiento 2 las plantas no tenían ningún tipo de sombra y estaban expuestas al sol durante todo el día y en el tratamiento 3 las plantas se sembraron al lado Oeste de otro individuo de *A. germinans* de igual altura, recibiendo sombra durante la mañana y sol en la tarde (Fig. 7).

abril del 2005 con el fin de determinar los niveles de salinidad, inundación y sobrevivencia de las plantas.

Interacción de Junonia evarete y A. germinans

Se registró el número de larvas por planta en cada visita en los sitios de transplante entre los meses de agosto y diciembre. La frecuencia de larvas está representada por el número de visitas donde se observó por lo menos una larva por plántula.

Análisis Estadístico

Para comprobar la distribución normal de los datos se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks. Para comparar la densidad de individuos de *A. germinans* al inicio y al final del muestreo entre transectos y entre sitios se realizaron análisis de varianza múltiple usando el método de comparación de *Tukey* con un nivel de significancia para todos los análisis de (α) 0.05. Este método también se usó para evaluar el efecto de variables como: salinidad de cultivo, tratamiento de radiación solar, uso de tubos de PVC y salinidad e inundación promedio, en la adaptación y crecimiento de las plántulas transplantadas. Se comparó la sobrevivencia de las plántulas transplantadas entre sitios y entre diferentes tratamientos de exposición solar. Se analizó la frecuencia de larvas entre tratamientos de exposición solar, entre sitios y la relación entre el crecimiento de las plántulas y la frecuencia de larvas.

El análisis de varianza también se utilizó para determinar diferencias significativas en factores fisico-químicos como salinidad del suelo entre sitios (Mar Negro y Aguirre), entre transectos y entre meses. Se usó para comparar valores diarios y mensuales de temperatura entre sitios y entre transectos. También se comparó el contenido de carbono, nitrógeno y fósforo y la razón de C/N y N/P en sedimentos superficiales de transectos y entre sitios. Debido a la alta variabilidad de los datos se realizaron análisis no paramétricos de medianas múltiples para confirmar los resultados obtenidos con el análisis de varianza paramétrico. Los análisis de medianas se usaron para comparar las variables bióticas de la forma descrita previamente para el análisis de varianza (Sokal & Rohlf, 1989).

Se utilizó la prueba de Kolmogorov Smirnov con un α de 0.05 para comparar el porcentaje de pérdida de semillas entre transectos y entre el norte y el sur de cada transecto para el mes de junio y la pérdida de semillas entre transectos entre septiembre y diciembre. Se utilizaron tablas de contingencia y la prueba Chi-cuadrada con un α de 0.05 para comparar la pérdida de semillas entre trampas abiertas y cerradas de cada transecto. También se utilizó para determinar si la pérdida de semillas dependía de la ubicación (norte y sur) en el transecto.

Se realizaron regresiones lineales para identificar si existía relación entre los niveles de inundación registrados durante el período de muestreo y la precipitación mensual promedio y la altura de la marea. Las pruebas estadísticas fueron realizadas con el programa estadístico *InfoStat Versión 2.0* (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2002), *Unistat para Excel Versión 5.5*. y en *Excel Versión 5.5 para Windows 2001*.

4. RESULTADOS

4.1 Cambios históricos en la cobertura de manglar

Los valores de cobertura de manglar del sector Mar Negro en los años 1963, 1977, 1985, 1995 y 2002 aparecen en la Figura 8. Se observa que para el año 1963 la cobertura de manglar era de 4.3 km² y se redujo paulatinamente hasta reducirse en un 50% para el año 2002. Debido a los pocos datos disponibles de cobertura de manglar no es posible establecer si existe alguna relación entre el cambio en área de manglar y las fluctuaciones en la precipitación.

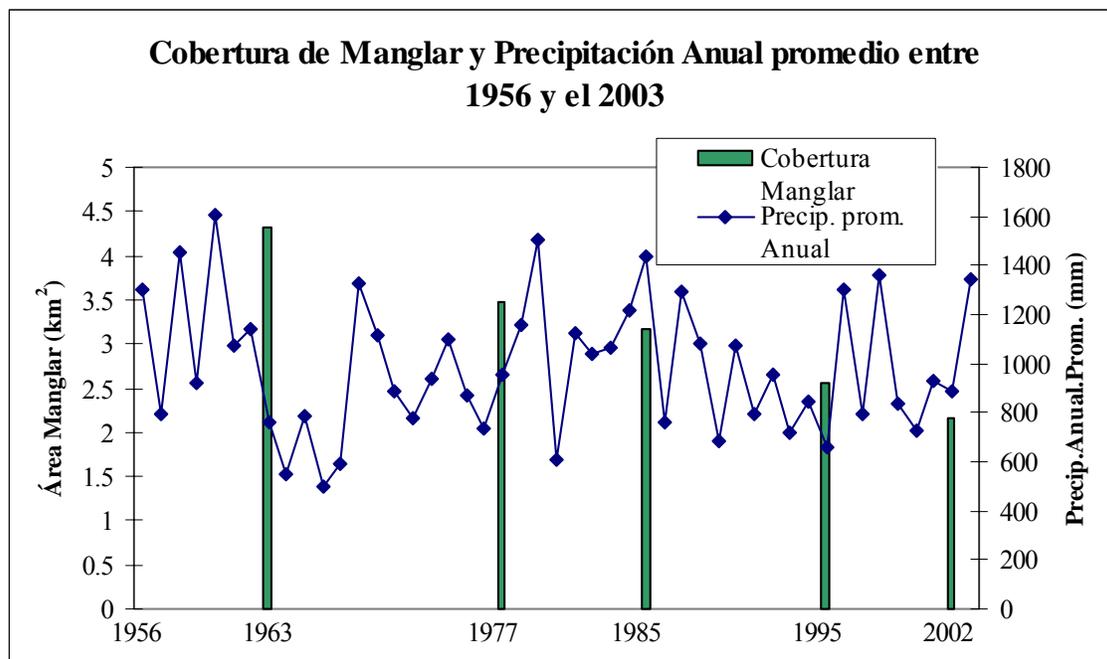


Figura 8. Cobertura de manglar y distribución de la precipitación anual promedio entre 1956 y el 2002 en el sector Mar Negro de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Las barras representan la cobertura de manglar estimada en fotografías aéreas de 1963, 1977, 1985, 1995 y en la imagen de satélite IKONOS del 2002. La precipitación se obtuvo del registro histórico disponible para la estación Aguirre Central en la dirección electrónica <http://www.cirrus.dnr.state.sc.us/cgi-bin/sercc/cliMONtpre.pl?pr0152> de la NOAA, el 11 de septiembre de 2004.

En la Figura 9 se observa que el área de manglar más afectada está localizada en la parte norte de Mar Negro donde *A. germinans* es la especie más abundante. Actualmente en este sitio se encuentran restos de troncos de *A. germinans* exhibiendo las raíces cable.

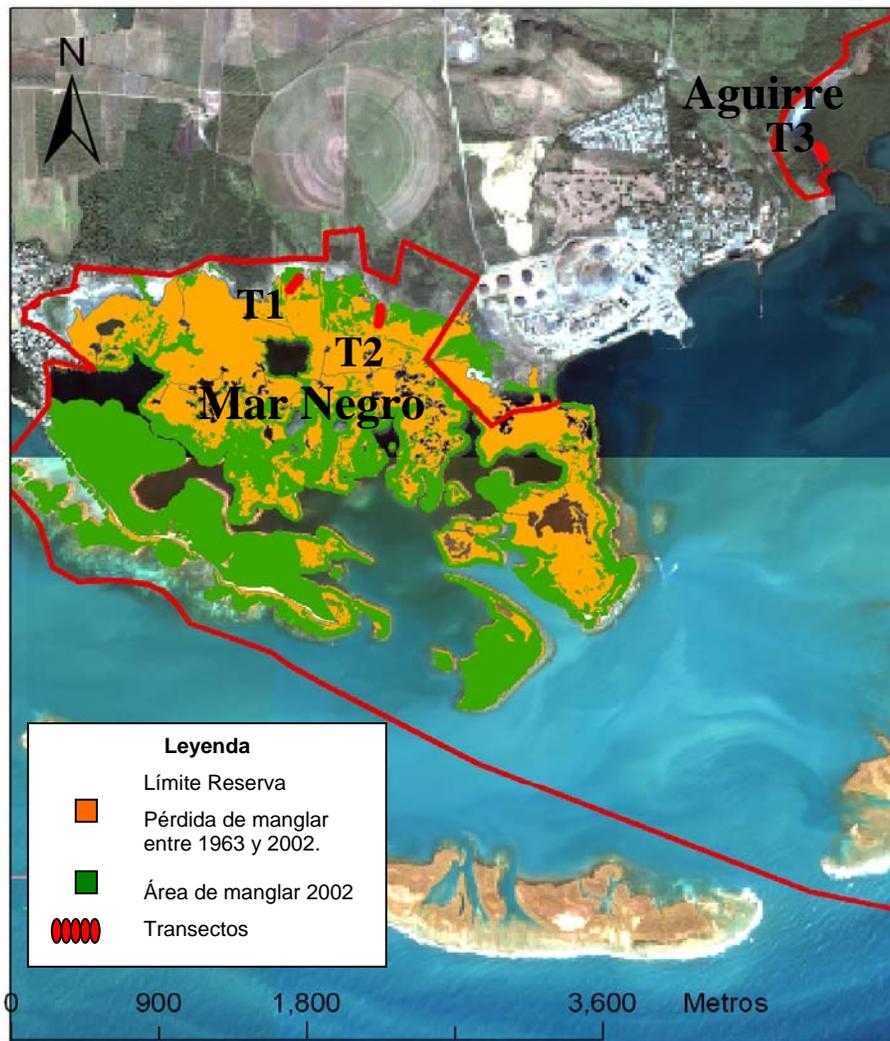


Figura 9. Pérdida de cobertura de manglar entre 1963 y 2002 y cobertura de manglar en el año 2002 en Mar Negro. Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Esta Figura corresponde a la imagen de Satélite IKONOS (2002) modificada, a información obtenida en fotografías aéreas de 1963 y a capa de información suministrada por la Administración de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.

Aún se observan troncos en pie y solo algunos individuos, localizados cerca de los antiguos canales que existían en el área tienen desarrollo foliar. Se encuentran arbustos dispersos de mangle negro con altura promedio de 1.5 m. También hay áreas desprovistas

de vegetación entre las cuales se diferencian sitios inundados entre junio y diciembre (al sur de la Reserva) y sitios (hacia el norte) que solo se encontraron inundados entre los meses de septiembre a diciembre, cuando la época de máxima precipitación coincidió con las mareas más altas.

4.2 Capacidad de regeneración natural y establecimiento de *A. germinans*

4.2.1 Factores Físico-Químicos

Durante un año de observaciones bimensuales en campo se colectaron datos de salinidad, contenido de humedad en los sedimentos, nivel de inundación, número de individuos por especie, temperatura del suelo, número de individuos y presencia/ausencia de propágulos o plántulas de *A. germinans*.

Inundación

Los resultados de las regresiones lineales de profundidad de inundación de las estaciones (e) (con mayor influencia mareal) de cada transecto contra valores de precipitación mensual (registrada en la Estación Aguirre Central durante diciembre 2003 y noviembre 2004) y marea (obtenida de la predicción para la estación Arroyo) no indican ninguna relación positiva. Sin embargo en la Figura 10 se observa que los valores máximos de profundidad de inundación en los 3 transectos coinciden con la tendencia de la marea, la cual presenta valores máximos (entre 27 y 32 cm) durante los meses de septiembre a diciembre. Durante estos meses también ocurren los valores más altos de precipitación. Los meses entre enero y mayo son los más secos, con valores mínimos de precipitación, mareas bajas y niveles de inundación de cero.

Durante el período de muestreo se observó que en algunas ocasiones el extremo sur de los transectos 1 y 2 se encontraba inundado a pesar de estar a una distancia de 1.3 y 0.7 km del mar, respectivamente; y de no haber llovido durante varios días consecutivos. La información disponible no permite precisar el origen de la inundación en el área de Mar Negro sin embargo dadas las características del acuífero es probable que éste controle en gran medida la entrada de agua al sistema.

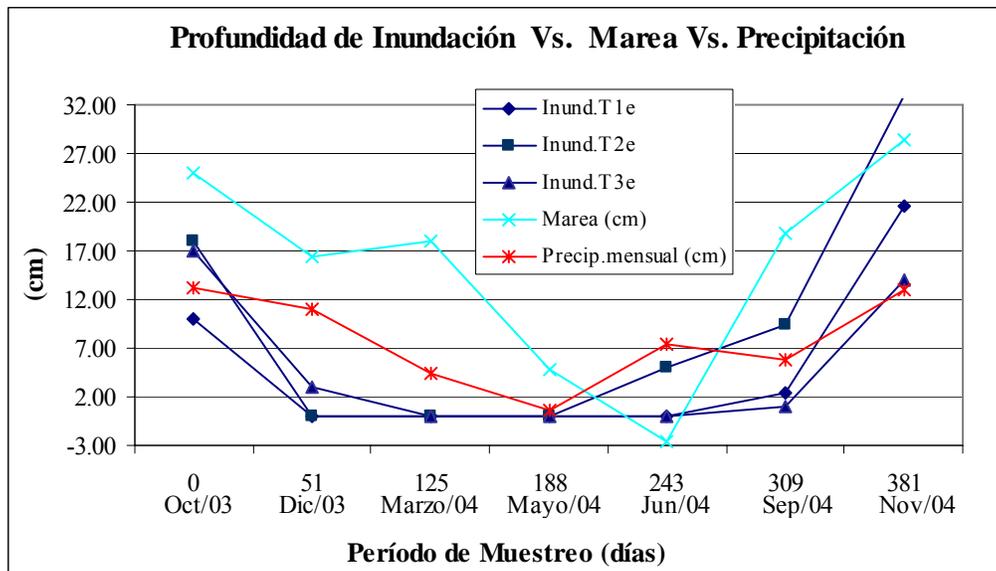


Figura 10. Profundidad de inundación, marea y precipitación mensual en los días de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina de la Bahía de Jobos. Los valores correspondientes a profundidad de inundación corresponden a la estación (e) de cada transecto por ser la más próxima al mar. Los valores de marea corresponden a la predicción de marea para la estación Arroyo (por ser la estación con predicción más cerca al sitio de estudio) en el programa *Tides and Currents* para Windows Ver. 2.5. La precipitación corresponde al valor mensual registrado durante el período de muestreo (diciembre 2003-Noviembre 2004).

Salinidad

En la Figura 11 se muestra la tendencia de la salinidad e inundación extremas registradas en transectos de la Reserva en diciembre del 2003 y en mayo del 2004, los meses de mayor inundación y sequía, respectivamente, durante el período estudiado. Durante mayo no ocurrió inundación por lo que no se incluyen resultados en la Figura 11.

En la Figura 11 se observa que la salinidad cambia de acuerdo con el nivel de inundación, durante la época de mayor humedad la salinidad disminuye y las diferencias de salinidad en sedimentos entre estaciones de un mismo transecto son mínimas.

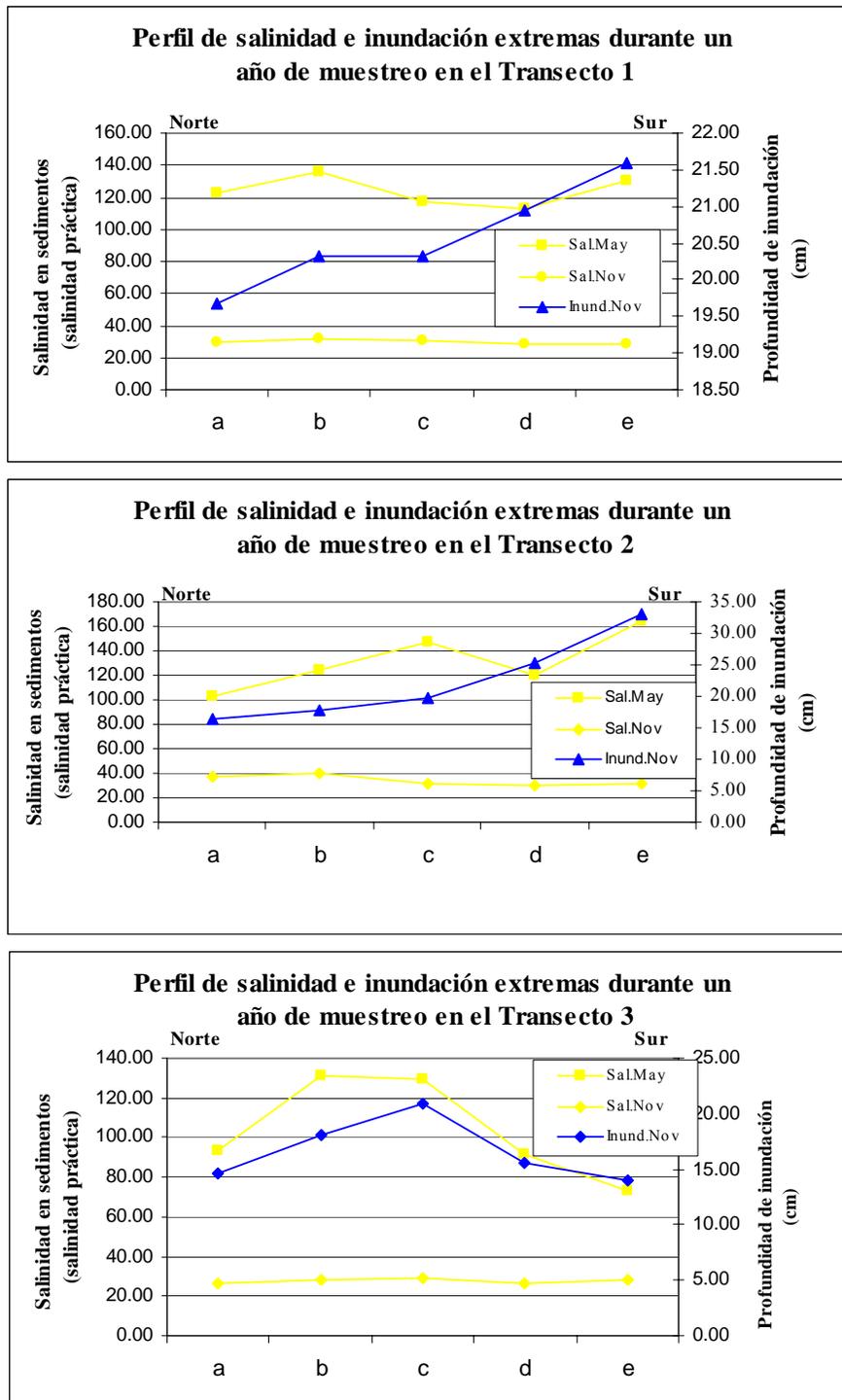


Figura 11. Salinidad e inundación en épocas extremas entre diciembre del 2003 y noviembre del 2004 en transectos de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Los valores extremos de salinidad se presentaron en el mes de mayo cuando no ocurrió inundación y los valores de mayor inundación y menor salinidad en el mes de diciembre. Las letras a, b, c, d y e, representan estaciones localizadas en los transectos con dirección norte- sur.

Las fluctuaciones en salinidad en las estaciones de los transectos estudiados aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Salinidad en sedimentos de estaciones ubicadas en los transectos estudiados en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos entre diciembre del año 2003 y noviembre del 2004. T1 y T2 indican transectos localizados en el área de Mar Negro y T3 el transecto de Aguirre. Las letras indican la ubicación de la estación en el transecto, **(a)** para la estación ubicada en el extremo norte del transecto y **(e)** para la estación ubicada en el extremo sur. Los valores de salinidad están expresados como salinidad práctica. Valores ≥ 65 aparecen en negrilla.

Estación	Diciembre	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
T1a	55	85	122	52	40	30
T1b	40	79	136	78	61	31
T1c	37	121	117	64	56	30
T1d	30	118	113	53	49	29
T1e	43	69	131	58	47	28
T2a	62	108	102	-	49	37
T2b	60	116	124	71	60	40
T2c	66	139	147	109	64	32
T2d	40	164	120	71	59	29
T2e	29	106	165	67	50	31
T3a	17	30	93	18	30	27
T3b	19	31	131	21	33	28
T3c	18	25	129	28	30	29
T3d	19	28	91	23	30	27
T3e	16	30	73	20	20	28

En la Tabla 2 aparecen los grupos de salinidad en sedimentos obtenidos del análisis de varianza múltiple. Se encontró diferencia significativa en la salinidad entre el transecto control (T3) y los transectos del Mar Negro (T1, T2) para todos los meses excepto para mayo y noviembre. En mayo la inundación en los tres transectos fue cero y no existe diferencia significativa en los valores de salinidad de los sedimentos entre sitios, ni entre transectos. En el mes de noviembre solo existe diferencia significativa entre los transectos 2 y 3.

Tabla 2. Grupos de salinidad en sedimentos en el período de muestreo (Diciembre 2003- Noviembre 2004) arrojados por el análisis de varianza múltiple. Entre paréntesis aparece la desviación estándar. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados obtenidos en el ANAVA (Apéndice 2. A.1). La salinidad está expresada como salinidad práctica.

Sitio	Transecto	Diciembre	Marzo	Mayo	Junio	Septiembre	Noviembre
Aguirre	T3 n = 5	18 (1.6)	29 (2.1)	104 (25.7)	22 (3.7)	29 (4.9)	28 (1.0)
Mar Negro	T1 n = 5	41 (9.1)	94 (23.7)	124 (9.5)	61(10.6)	50 (7.9)	30 (1.4)
Mar Negro	T2 n = 5	51 (15.9)	127 (24.8)	132 (24.2)	79 (19.7)	59 (6.5)	34 (4.5)

De los resultados obtenidos se observa que la salinidad es función del nivel de inundación lo que se explica por la dilución de sales que ocurre cuando hay más agua disponible en el sistema. El suelo en los transectos 1 y 2 en Mar Negro es hipersalino durante los meses de sequía pero en los meses de mayor humedad la salinidad baja y es similar a la del transecto 3 en Aguirre. El transecto 3 presenta valores de salinidad bajos (18-29), incluso menores que la salinidad del agua del mar, durante la mayor parte del año. Esto coincide con la inundación casi permanente del sitio con excepción de los meses de sequía, marzo y abril, cuando los valores de salinidad fueron similares a los valores más altos registrados en Mar Negro. La sobrevivencia de las plántulas y arbustos de *A. germinans* que crecen en el área depende principalmente de la intensidad y duración de los períodos de sequía. Observaciones de campo durante los meses de sequía del 2005 mostraron una sobrevivencia alta de plántulas establecidas naturalmente en la parte norte de Mar Negro durante la época húmeda (Septiembre-Diciembre del 2004).

Temperatura del suelo

Los valores bimensuales de temperatura obtenidos durante un año se utilizaron para comparar estaciones del mismo transecto. En el Apéndice 1 aparecen los valores de temperatura de los transecto 1, 2 y 3 para diferentes meses. No se encontró diferencia significativa en la temperatura registrada para las estaciones de los transectos 1 y 2, del sector Mar Negro y no existe diferencia significativa en la temperatura de diferentes meses en el transecto 1. La temperatura de la estación T3e es significativamente mayor en comparación con la temperatura de las otras estaciones del transecto 3 y las

temperaturas registradas en las estaciones de los transectos 2 y 3 presentan algunas diferencias significativas entre meses (Tabla 3).

Tabla 3. Grupos de temperatura en °C arrojados por el análisis de varianza múltiple de temperatura superficial de sedimentos en La Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. En paréntesis aparece la desviación estándar. T2 corresponde al transecto 2 ubicado en Mar Negro y T3 al transecto 3 localizado en Aguirre. No existe diferencia significativa entre valores de temperatura del transecto 1 por esta razón no aparecen en la tabla. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados obtenidos en el ANAVA (Apéndice 2. A.2).

Dic 19/03	25.11 (1.7)		Nov 13/04	26.80 (0.5)	
Nov 13/04	27.20 (0.5)		Dic 19/03	27.11 (1.5)	
Sep 2/04	31.80 (2.2)		Junio 28/04	28.11 (0.9)	
Mayo 4/04	32.16 (3.7)		Mayo 4/04	29.78 (1.8)	
Oct 28/03	34.04 (1.1)		Oct 28/03	30.91 (0.2)	
Junio 28/04	34.33 (3.0)		Sep 2/04	31.20 (1.9)	

De la Tabla 3 se observa que la temperatura superficial del suelo varía de acuerdo con la época del año, la temperatura también puede variar con la presencia de cobertura vegetal e inundación. Los valores más bajos de temperatura se registran en los meses de noviembre y diciembre, esto coincide con la época más lluviosa y de menor insolación.

Fluctuaciones diarias de la temperatura superficial

Para tener una idea de la variación diaria de la temperatura en los transectos estudiados se utilizaron termómetros marca HOBO programados para medir temperatura cada 10 minutos durante 10 días consecutivos. Los resultados del análisis de varianza no señalan diferencia significativa en la temperatura de estaciones de un mismo transecto, sin embargo si se encontraron diferencias significativas entre Mar Negro (transectos 1 y 2) y Aguirre (transecto 3) (Tabla 4).

Tabla 4. Temperatura diaria en °C en transectos de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. En paréntesis aparece la desviación estándar. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados del ANAVA (Apéndice 2. A.2).

Sitio	Transecto	Temperatura n = 1296
Aguirre	Transecto 3	25.33 (3.7)
Mar Negro	Transecto 2	28.48 (7.79)
Mar Negro	Transecto 1	29.08 (7.51)

En la Figura 12 aparecen los valores promedio de temperatura registrados entre el 23 de febrero y el 3 de marzo del 2005. Se observa que las temperaturas registradas entre las siete de la noche y las siete de la mañana son similares. En el transecto 3 (Aguirre) se presentaron los valores más bajos de temperatura en comparación con los transectos 1 y 2.

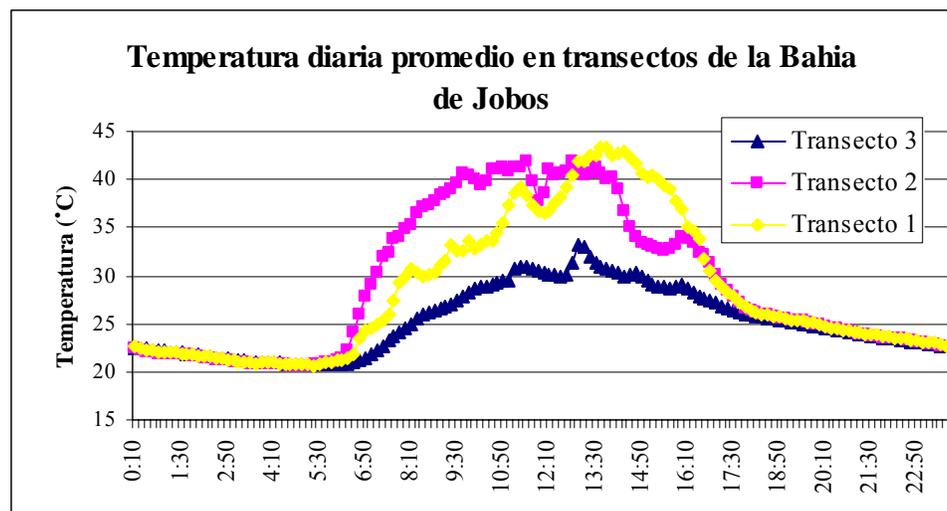


Figura 12. Temperatura diaria promedio medida simultáneamente en la superficie de transectos localizados en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos entre el 23 de febrero y el 3 de marzo del 2005. La variación diaria promedio, calculada como el promedio de desviaciones estándares para cada hora del período estudiado, es 5 para los transectos 1 y 2, y 2 para el transecto 3.

Concentración de nutrientes (C, N, P) en sedimentos

El análisis de varianza no muestra diferencias significativas de contenido de carbono total (CT) entre los meses de diciembre 2003 (época húmeda) y mayo 2004 (época seca) pero si existe diferencia en el contenido de CT entre todos los transectos (Tabla 5).

Tabla 5. Diferencias en la concentración de carbono total, nitrógeno total y fósforo total de sedimentos* en superficie entre transectos y entre épocas en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. En paréntesis aparece la desviación estándar. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados del ANAVA (Apéndice 2. A.4).

Sitio/Época		Carbono (mmol/gramo)	Nitrógeno (mmol/gramo)	Fósforo (mmol/gramo)
Mar Negro	T1c n= 4	7.93 (0.4)	0.13 (0.2)	6.66 (3.2)
	T2c n= 4	5.18 (0.7)	0.20 (0.4)	6.80 (1.9)
Aguirre	T3c n= 4	11.25 (0.9)	0.45 (0.9)	4.20 (1.1)
Época seca	n = 6	7.72 (2.7)	2.40 (1.0)	5.41 (1.9)
Época húmeda	n = 6	8.52 (2.8)	2.90 (1.8)	6.36 (1.9)

*Los sitios donde fueron colectados los sedimentos corresponden a la estación (c) de cada transecto. La época húmeda corresponde al mes de diciembre del 2003 cuando el nivel de inundación fue el máximo del período estudiado y la época seca corresponde a mayo del 2004 cuando el sitio estaba completamente seco.

Existe diferencia significativa en el contenido de nitrógeno total (NT) entre sitios, siendo mayor la concentración para sedimentos de Aguirre en comparación con el área de Mar Negro. No existe diferencia significativa entre T1c y T2c y tampoco entre época seca y época húmeda. De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 5) existe diferencia significativa en la concentración de fósforo total (FT) entre sitios (Aguirre y Mar Negro), siendo mayor para el sector Mar Negro. No hay diferencia en el contenido de FT entre estaciones y tampoco entre los meses analizados.

La razón de carbono a nitrógeno (C/N) en T1c es significativamente mayor en comparación con T2c y T3c. También existe diferencia significativa en la razón entre nitrógeno y fósforo (N/P) entre Mar Negro y Aguirre pero no existen diferencias significativas entre la razón C/N y N/P entre época húmeda y seca (Tabla 6).

Tabla 6. Diferencia entre la razón C/N y N/P en sedimentos superficiales de la Reserva de investigación Estuarina, Bahía de Jobos. La letra T acompañada por los números 1, 2 y 3 indican el transecto y la letra (c) indica la estación analizada. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados obtenidos en el ANAVA (Apéndice 2.A.4).

Sitio		C/N	N/P
Mar Negro	T1c n = 4	58.80	0.02
	T2c n = 4	25.93	0.03
Aguirre	T3c n = 4	25.47	0.11

En general se observa que la concentración de nitrógeno en los sitios estudiados es baja en comparación con carbono y fósforo, en especial en el área de Mar Negro indicando posiblemente un déficit en este elemento. La concentración de nitrógeno en el transecto 1 tiene un efecto significativo en la razón de C/N a pesar de que no existe diferencia significativa en el contenido de carbono y nitrógeno entre los transectos 1 y 2.

4.2.2 Factores bióticos

Densidad de individuos de A. germinans en estaciones de muestreo

El análisis de varianza y de medianas no señalan diferencia significativa entre el número de plántulas encontradas en los transectos y entre sitios (Mar Negro y Aguirre) al inicio del muestreo (diciembre del 2003). Por el contrario si existe diferencia significativa entre el número final de individuos entre transectos (Fig. 13) y entre sitios al finalizar el muestreo (noviembre del 2004). El valor promedio de individuos/m² de *A. germinans* fue de 2.05 en Aguirre y de 0.55 en Mar Negro. En la Figura 13 se observa que la densidad de *A. germinans* en el transecto 3 (Aguirre) es mayor y su distribución más homogénea que en los transectos de Mar Negro. La densidad de plántulas al final del muestreo fue mayor para las estaciones T3b, T3c y T3e; fue igual para la estación T3a y disminuyó en la estación T3d. No se encontraron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo de los transectos T1 y T2 excepto para T1c y T2d donde la densidad de individuos disminuyó 43% y 73%, respectivamente.

Tabla 7. Individuos de *A. germinans* iniciales y establecidos durante el período de muestreo en estaciones de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Individuos iniciales corresponden a individuos que se encontraban en las estaciones de muestreo en diciembre del 2003 cuando se empezó el estudio; sobrevivencia de individuos iniciales corresponde al número de individuos encontrados en diciembre del 2003 que sobrevivieron hasta el final del muestreo (noviembre 2004). Individuos nuevos establecidos: corresponde al número de individuos establecidos durante el período de muestreo. Sobrevivencia Individuos Nuevos: número de individuos establecidos durante el período de muestreo que sobrevivieron hasta noviembre del 2004. Cada estación de muestreo representa un área de 4 m².

Estación de Muestreo	Individuos iniciales	Sobrev. Ind. iniciales	Individuos Nuevos establecidos	Sobrev. Individuos Nuevos
T1a	6	6	0	0
T1b	0	0	0	0
T1c	7	3	1	0
T1d	0	0	0	0
T1e	0	0	0	0
T2a	0	0	2	1
T2b	1	1	1	1
T2c	1	1	0	0
T2d	15	11	0	0
T2e	0	0	0	0
T3a	6	6	1	0
T3b	5	5	4	4
T3c	4	4	6	4
T3d	9	8	0	0
T3e	9	9	1	1

Retención y establecimiento de propágulos de A. germinans

Ninguna las semillas colocadas en las trampas de retención en enero del 2004 fue encontrada a los 30 días del experimento por esta razón en junio del 2004 y luego entre septiembre y diciembre del mismo año se repitió el experimento. En la Figura 14 aparece graficado el porcentaje de semillas desaparecidas cada dos días en trampas localizadas al norte y sur de cada transecto durante el mes de junio del 2004 en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Estas trampas corresponden a trampas abiertas,

de 1m² de área y altura 20 cm, el número inicial de semillas depositadas en las mallas fue 50.

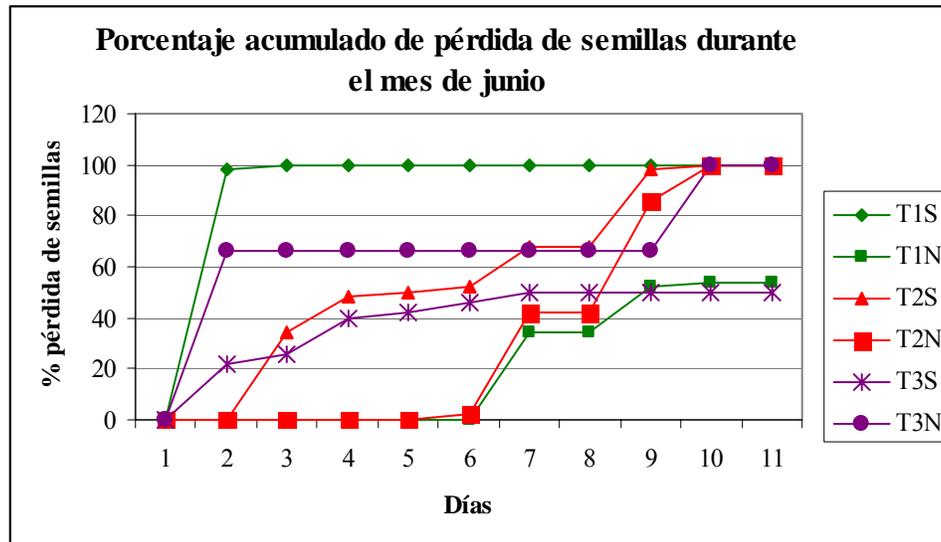


Figura 14. Pérdida de semillas de *A. germinans* en La Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos durante el mes de Junio de 2004. T1, T2 y T3 hace referencia al transecto y las letras N y S, indican las trampas ubicadas hacia el norte (con menor influencia mareal) y trampas ubicadas en el extremo sur (con mayor influencia mareal).

En la Figura 14 se aprecia que la pérdida de semillas en los sitios localizados al sur de los transectos 1 y 2 es mayor en comparación con los sitios ubicados al norte de los mismos transectos. Sin embargo en el transecto 3 el comportamiento es opuesto. La pérdida de semillas en T3N es mayor en comparación con T3S y el número de semillas se mantiene casi constante en ambas trampas entre los días 2 y 20 del experimento.

Se utilizó la prueba de Kolmorov-Smirnov para comparar el porcentaje de pérdida de semillas entre los tres transectos y entre los sectores sur y norte de cada transecto (Tabla 8). Los resultados obtenidos para esta prueba indican que no existe diferencia significativa en el porcentaje de pérdida de semillas entre transectos durante el mes de junio. Sin embargo si se encontró diferencia significativa en el porcentaje de pérdida de semillas entre el sector norte y sur de los transectos 1 y 3.

Tabla 8. Resultados de la prueba de Kolmorov-Smirnov para comparar el porcentaje de pérdida de semillas durante el mes de junio entre transectos y sectores norte y sur de cada transecto en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. T1, T2 y T3 corresponden a los transectos y las letras N y S indican la posición, norte o sur, en el transecto.

Variables comparadas	n	Valor crítico KS calculado	Valor crítico KS para $\alpha \leq 0.05$	Diferencia significativa
T1-T2	22	22.73	198	No
T1-T3	22	36.36	198	No
T2-T3	22	27.27	198	No
T1N-T1S	11	90.90	77	Si
T2N-T2S	11	45.45	77	No
T3N-T3S	11	90.91	77	Si

La prueba de Kolmorov-Smirnov no indicó ninguna diferencia significativa al comparar el porcentaje de pérdida de semillas entre los meses de septiembre y diciembre en los transectos 1, 2 y 3. Para determinar si el tipo de malla (cerrada o abierta) y la ubicación en el transecto (norte o sur) tuvieron algún efecto en el porcentaje de pérdida de semillas entre los meses de septiembre y diciembre en los transectos, se utilizaron tablas de contingencia y la prueba chi-cuadrada. Los resultados aparecen en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Resultados de la prueba X^2 para evaluar el efecto del tipo de malla (abierta-cerrada) de cada transecto en la pérdida de semillas entre los meses de septiembre-diciembre en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. T1, T2 y T3 corresponden a los transectos 1, 2 y 3 y el valor de X^2 obtenido de la comparación entre mallas abiertas y cerradas de un mismo transecto. El valor de X^2 de la tabla es 3.841, gl = 1 y $\alpha \leq 0.05$.

Variable comparada	X^2 calculado
	Tipo de malla (abierta Vs cerrada)
T1	10.59*
T2	22.15*
T3	20.09*

* Valores iguales o mayores que X^2 crítico ($\alpha \leq 0.05$) indican que hay diferencia significativa en la pérdida de semillas entre mallas abiertas y cerradas.

Tabla 10. Resultados de la prueba X^2 para evaluar el efecto de la ubicación (norte-sur) de las trampas abiertas y cerradas de cada transecto en la pérdida de semillas entre los meses de septiembre-diciembre en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. T1abierta corresponde a la comparación entre la pérdida de semillas al norte y sur del transecto 1 en mallas abiertas, T1cerrada compara la pérdida de semillas al norte y sur del transecto 1 en mallas cerradas, y así sucesivamente. El valor de X^2 de la tabla es 3.841, $gl = 1$ y $\alpha \leq 0.05$.

Variable comparada	X^2 calculado Posición en el transecto (norte Vs sur)
T1abierta	0
T1cerrada	4.05*
T2abierta	2.91
T2cerrada	0.56
T3abierta	23.33*
T3cerrada	8.07 *

*Valores mayores o iguales a X^2 crítico ($\alpha \leq 0.05$) indican que existe diferencia significativa en la pérdida de semillas entre el norte y el sur del transecto.

Los resultados de la Tabla 10 indican que la pérdida de semillas depende del tipo de malla en todos los transectos y en la Tabla 9 se observa que en las trampas cerradas del transecto 1 al igual que en ambas mallas, abiertas y cerradas, del transecto 3 la pérdida de semillas depende de la posición (norte o sur) en el transecto. Este resultado coincide con lo encontrado en la Tabla 8 para el mes de junio, cuando la pérdida de semillas fue diferente significativamente entre el norte y sur de los transectos 1 y 3.

En la Figura 15 aparecen los valores de tasa de pérdida de semillas para el mes de junio y entre septiembre-diciembre. Se observa que la tasa de pérdida de semillas oscila entre valores de 0 y 1.85 semillas/día/m². En todos los sitios se observa que la tasa de pérdida de semillas es mayor para el mes de junio en comparación con los otros meses. Este resultado puede deberse a que para esta época se utilizaron mallas de poca altura (20 cm) por lo tanto es probable que este valor corresponda a pérdida de semillas por inundación.

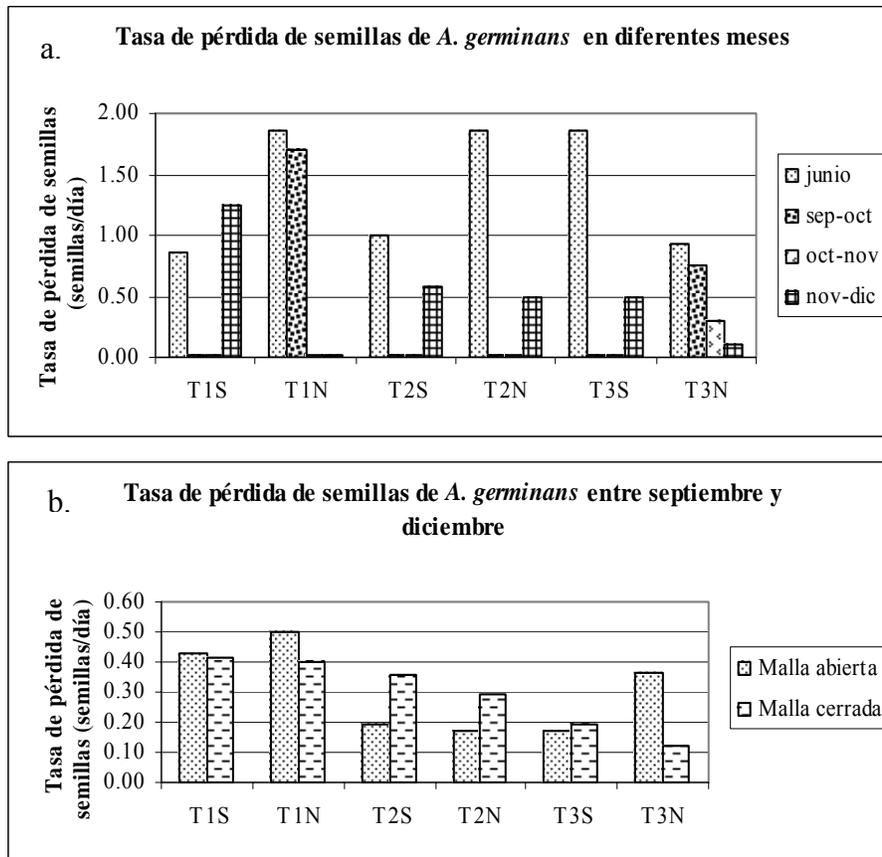


Figura 15. Tasa de pérdida de semillas de *A. germinans* en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. (a) comparación entre la tasa de pérdida de semillas en junio, sep-oct, oct-nov y nov-dic en trampas abiertas y (b) comparación entre la tasa de pérdida en trampas abiertas y cerradas entre septiembre y diciembre del 2004. T1, T2 y T3 hace referencia a los transectos y las letras N y S, significan norte y sur. Las trampas ubicadas hacia el norte tienen menor influencia mareal en comparación con las del sur.

En la Tabla 11 se muestra la pérdida de semillas por transectos medida en trampas de retención de semillas. Se observa que en el transecto 1 ocurre la mayor pérdida seguido por el transecto 2 y el transecto 3, respectivamente.

Tabla 11. Pérdida de semillas de *A. germinans* en trampas de 1m² de área ubicadas en diferentes sitios de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos durante los meses de junio a noviembre.

Transecto	Pérdida de semillas en trampas (% semillas/m ²)*
Mar Negro – Transecto 1	72.6
Mar Negro – Transecto 2	47.4
Aguirre – Transecto 3	41.0

* Período de muestreo equivalente a 134 días durante los meses de junio a noviembre.

Estimación de producción de semillas de A. germinans en sitios de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos

Durante los meses de julio y diciembre se registró el número de semillas de *A. germinans* acumuladas en mallas de recolección ubicadas en el sitio de estudio. Para analizar la producción de semillas se evaluó el promedio, la media geométrica y la mediana, sin embargo el tamaño reducido de la muestra no permitió observar diferencias entre estos estadísticos. En la Tabla 12 aparece el promedio y la desviación estándar.

Tabla 12. Conteo de semillas de *A. germinans* en colectores ubicados en diferentes sitios de muestreo en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos durante los meses de junio a noviembre. En paréntesis aparece la desviación estándar.

Transecto	n	Conteo de semillas en colectores (semillas/ m ²)*
Mar Negro – Transecto 1	2	19 (26.2)
Mar Negro – Transecto 2	2	2.5 (88.4)
Aguirre – Transecto 3	3	161 (43.2)

* Período de muestreo equivalente a 134 días durante los meses de junio a noviembre.

En la Tabla 12 se observa que los valores promedio de producción de semillas difieren entre áreas de Mar Negro, siendo mayor en los alrededores del transecto 1 localizado en el sector Este de la reserva. También se observa que la producción de semillas en Aguirre es mucho mayor en comparación con Mar Negro y coincide con una menor pérdida de semillas de acuerdo a los valores obtenidos durante el seguimiento de las trampas de retención (Tabla 11). Valores bajos de producción de semillas en Mar Negro coinciden con valores bajos de establecimiento de propágulos en la misma área, 0 y 0.1 ind/m²/año en los transectos 1 y 2, respectivamente.

4.3 Supervivencia y desarrollo de propágulos de *A. germinans*

Sobrevivencia y desarrollo de A. germinans en diferentes salinidades bajo condiciones de vivero

En la Tabla 13 aparecen los valores de crecimiento y supervivencia de plántulas de *A. germinans* cultivadas en diferentes salinidades. Se observa que las plántulas cultivadas en agua dulce tuvieron una supervivencia del 100% mientras que las plántulas cultivadas en salinidad 65 tuvieron una supervivencia del 31%. Las plántulas en el vivero alcanzaron valores de crecimiento de 0.66, 0.50 y 0.21 mm/día para salinidades de 0, 35 y 65, respectivamente. Plántulas cultivadas en salinidad de 95 murieron una semana después del inicio del experimento. En las plántulas cultivadas en salinidad 35 y 65 ocurrió un engrosamiento de la base del tallo, las hojas crecieron menos que las de plántulas sin salinidad y se observó acumulación de cristales de sal sobre las hojas a partir del segundo día del experimento. Las plántulas que sobrevivieron la fase de vivero fueron transplantadas en dos sitios diferentes del área de estudio (Mar Negro y Aguirre) y fueron monitoreadas durante 4 meses (agosto-diciembre 2004).

Tabla 13. Comparación del crecimiento y supervivencia de plántulas de *A. germinans* sometidas a diferentes tratamientos de salinidad en condiciones de vivero. En paréntesis aparece la desviación estándar. Las plántulas fueron monitoreadas en el vivero durante 120 días.

Salinidad de cultivo	Crecimiento (mm/día)	Sobrevivencia (%)	Altura final (cm)
Sal. 0	0.66 (0.4) n = 35	100.00	23.54 (5.64) n = 14
Sal. 35	0.50 (0.3) n = 35	68.57	12.81 (3.15) n = 24
Sal. 65	0.21 (0.1) n = 35	31.43	12.14 (1.92) n = 11

Establecimiento de Plántulas de A. germinans transplantadas en el área de estudio

Durante el período que las plántulas transplantadas fueron vistas los valores de salinidad medidos en Mar Negro oscilaron entre 16 y 60 y la inundación entre 19 y 40 cm. En el segundo sitio (Aguirre) la salinidad osciló entre 6 y 32 y la inundación entre 12 y 27 cm. En la Tabla 14 aparecen los valores de crecimiento y sobrevivencia de las plántulas de *A. germinans* transplantadas al sitio de estudio.

Tabla 14. Crecimiento y sobrevivencia de plántulas de *A. germinans* transplantadas en dos sitios de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Entre paréntesis aparece la desviación estándar y el tamaño de la muestra (n). Las plántulas fueron monitoreadas durante 120 días. Las plántulas transplantadas fueron obtenidas en el vivero bajo diferentes tratamientos de salinidad (0, 35 y 65 salinidad práctica) y su altura al ser transplantadas corresponde a la altura final de la fase de cultivo (Tabla 11).

Rango de salinidad en Mar Negro 16-60		Rango de salinidad en Aguirre 6-32	
Crec.Mar Negro (mm/día)	Sobrevivencia Mar Negro (%)	Crec. Aguirre (mm/día)	Sobrevivencia Aguirre (%)
n = 25	n = 25	n = 25	n = 25
0.55 (0.41)	88	0.18 (0.29)	40

Los resultados de la Tabla 14 muestran que el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas transplantadas fue mayor en el sector Mar Negro en comparación con el sector Aguirre. En la Tabla 15 aparecen los resultados del análisis de varianza del crecimiento de *A. germinans* entre sitios. Se observa que el crecimiento en Mar Negro fue significativamente mayor al de Aguirre. Los valores de crecimiento y sobrevivencia indican que el área de trasplante utilizada en el sector Mar Negro presenta condiciones adecuadas para la siembra de *A. germinans* por lo menos durante los meses de mayor precipitación (septiembre-diciembre).

Tabla 15. Comparación en el crecimiento de las plántulas entre sitios de transplante en La Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Valores que comparten el símbolo **I** no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados del ANAVA (Apéndice 2. A.6).

Sitios de Transplante	Crecimiento (cm)	Desviación estándar
Aguirre n= 25	-4.02 I	10.24
Mar Negro n= 25	5.10 I	8.05

Efecto de la salinidad de cultivo y sitios de transplante en el crecimiento de las plántulas

Las plántulas cultivadas sin sales fueron las más exitosas en el vivero sin embargo al ser transplanta las plántulas cultivadas en salinidad 35 presentaron valores más altos de sobrevivencia y crecimiento. Las plántulas sembradas en el área de Mar Negro (Transecto 2) presentaron mayor crecimiento y sobrevivencia en comparación con las plántulas sembradas en Aguirre (Transecto 3). En general, las plántulas cultivadas en salinidad 65 tuvieron crecimientos y sobrevivencia más bajas tanto en el vivero como en el área donde fueron transplantadas.

El análisis de varianza entre crecimiento de plántulas transplantadas y salinidad de cultivo en el vivero no muestra diferencias significativas (Tabla 16). Sin embargo se observa que el crecimiento promedio de las plántulas crecidas en salinidad 35 es de 2.48 cm. Este valor difiere de los otros no solo por ser mayor sino por indicar un crecimiento positivo en comparación con los crecimientos negativos de plántulas procedentes de salinidades 0 y 65. El resultado no significativo se debe a la alta variabilidad del crecimiento y la existencia de valores negativos ocasionados por la herbivoría en los tallos. El análisis no paramétrico de medianas señala que existe diferencia significativa entre el crecimiento de plántulas cultivadas en salinidad 35 y salinidad 65 (ver Apéndice 2.B).

Tabla 16. Comparación del crecimiento de las plántulas transplantadas provenientes del vivero donde fueron cultivadas en diferentes tratamientos de salinidad. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados del ANAVA (Apéndice 2.A.6).

Salinidad de cultivo		Crecimiento (cm)		Desviación estándar
0	n = 24	-0.56		2.54
35	n = 15	2.48		8.60
65	n = 11	-2.21		10.19

* Período de crecimiento de 120 días.

Para ver el efecto de la salinidad y la inundación en el crecimiento de las plántulas transplantadas se realizaron análisis de varianza usando como variables el crecimiento, la inundación y la salinidad promedio de los sitios durante el período de muestreo (Tabla 17). En el sitio de transplante de Mar Negro se registraron valores de salinidad e inundación superiores a los registrados en el sitio de transplante de Aguirre entre los meses de agosto y diciembre y los valores de inundación en Mar Negro fueron levemente mayores a los registrados en el control (Aguirre) (Tabla 17). El análisis de varianza no muestra diferencia significativa entre ellos con excepción del mes de noviembre cuando el nivel de inundación en Mar Negro (38.10 cm) fue significativamente diferente al de Aguirre (25.40 cm). Sin embargo el análisis de medianas señala que la inundación y la salinidad son significativamente mayores en Mar Negro (Apéndice 2).

En Mar Negro los valores de salinidad promedio, máxima y mínima entre agosto y diciembre fueron de 39, 50 y 16, respectivamente, y en Aguirre 22, 32 y 6, respectivamente.

Tabla 17. Comparación del crecimiento de las plántulas y de valores promedio de salinidad e inundación entre tratamientos de exposición solar en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. Los números que acompañan el nombre del sitio de transplante indican el tratamiento de exposición solar aplicado, (1) para sitios con sol en la mañana, (2) sitios expuestos al sol durante todo el día y (3) para sitios recibiendo sol en la tarde. En paréntesis aparece la desviación estándar. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados del ANAVA (Apéndice 2.A.7).

Salinidad Promedio			Inundación Promedio			Crecimiento Promedio		
Tratamiento de exposición solar	Salinidad Promedio	n	Tratamiento de exposición solar	Inundación Promedio	n	Tratamiento de exposición solar	Crecimiento	n
Aguirre1	21 (3E-07)	10	Aguirre1	16 (0.0)	10	Aguirre 3	-10.2 (10.4)	9
Aguirre2	23 (0.0)	6	Mar Negro 3	20 (0.0)	10	Aguirre 1	-0.2 (10.0)	10
Aguirre3	23 (0.3)	9	Aguirre 3	20 (0.04)	9	Aguirre 2	0.6 (1.6)	6
Mar Negro3	39 (0.0)	10	Aguirre 2*	20 (3E-07)	6	Mar Negro 3	3.4 (7.9)	10
Mar Negro2	39 (0.1)	5	Mar Negro 1	21 (0.0)	10	Mar Negro 2	5.1 (1.7)	5
Mar Negro1	40 (1E-06)	10	Mar Negro 2*	26 (3.1)	5	Mar Negro 1	6.6 (10.5)	10

* Tratamientos donde se utilizaron tubos de PVC.

El análisis de varianza no indica diferencias significativas en la salinidad de tratamientos de un mismo sitio. Se observan diferencias significativas en el nivel de inundación promedio de algunos tratamientos. En Mar Negro2 ocurrió el mayor nivel de inundación promedio en comparación con los otros tratamientos. Los resultados indican que las diferencias en crecimiento dependen del sitio de transplante principalmente. En la Tabla 18 se observa que valores de crecimiento alto coinciden con valores de salinidad promedio altos, los cuales corresponden a Mar Negro. También se observa en la Tabla 18 que aunque el valor de inundación promedio en Aguirre2 y Aguirre3 fue igual (20 cm) fue mayor el crecimiento de plántulas sembradas en tubos de PVC, correspondientes al tratamiento Aguirre2.

Los sitios correspondientes al tratamiento 2 de exposición solar se encontraron inundados durante todo el período de muestreo con excepción de mayo del 2004 y febrero y marzo del 2005. El análisis de varianza para evaluar el efecto de los tubos de PVC en el desarrollo de las plántulas señala que el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas con este tratamiento es significativamente mayor que el de plántulas creciendo sin tubos y expuestas a niveles similares de inundación (Tabla 18).

Tabla 18. Comparación entre el crecimiento de plántulas sembradas en tubos de PVC y sin tubos en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos. En paréntesis aparece la desviación estándar. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados obtenidos en el ANAVA (Apéndice 2.A.8).

Tratamiento		Crecimiento (cm)
Sin tubo	n = 39	-0.17 (11.41)
Tubo PVC	n = 11	3.07 (2.78)

El nivel promedio de inundación en Aguirre osciló entre 16 y 20 cm mientras que en Mar Negro estuvo entre 20 y 26 cm. El nivel más alto de inundación en ambos sitios se registró en el tratamiento 2, donde las plántulas se encontraban en tubos de PVC. Los valores de inundación y los resultados de la Tabla 18 sugieren que los tubos de PVC tuvieron un efecto positivo en el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas. La salinidad en sedimentos de las plántulas sembradas dentro y fuera de los tubos de PVC no fue medida por lo tanto no es posible determinar si los tubos modificaron la salinidad. Las condiciones de inundación permanente registradas durante el período de muestreo (agosto-diciembre del 2004) y los cortes transversales que se hicieron en los tubos facilitan el intercambio de agua, por lo tanto se estima que los valores de salinidad no difieren entre tratamientos de un mismo sitio.

Interacción de Junonia evarete y A. germinans

En Aguirre se registró herbivoría en plántulas de *A. germinans*, causada por larvas del lepidóptero *Junonia evarete* Cramer una semana después de la fecha en que las plántulas fueron transplantadas al sitio de estudio. En Mar Negro se observó la presencia de *J. evarete* cinco semanas después de haber sido transplantadas (octubre 1, 2004), lo que coincidió con un cambio en salinidad de 44 a 17 luego del paso de la tormenta tropical Jeanne (septiembre 16, 2004). Las larvas también fueron encontradas en plántulas establecidas naturalmente en otras áreas de la reserva y su presencia en el área se prolongó hasta principios de enero del 2005. Las larvas tuvieron mayor impacto en el área foliar de las plántulas, aunque también consumieron algunos tallos. Casi siempre después de un registro de herbivoría se observó desarrollo de hojas nuevas. La herbivoría

llevada a cabo por esta larva afectó el establecimiento de las plántulas así como su desarrollo y crecimiento. En la Figura 16 aparece el porcentaje de larvas observado en los sitios de transplante.

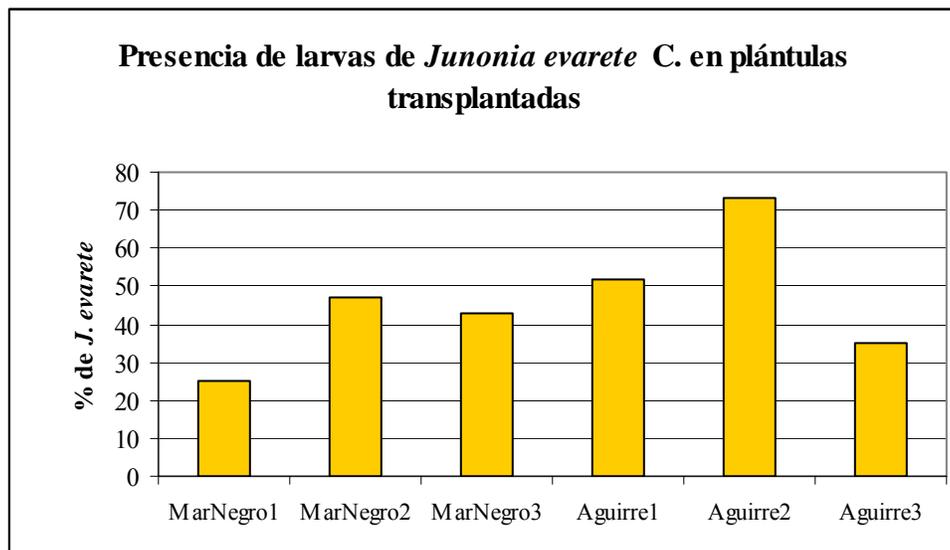


Figura 16. Porcentaje de larvas de *Junonia evarete* C. observadas en plántulas transplantadas durante las visitas de campo. El eje X representa los tratamientos de exposición solar (1 = sol en la mañana, 2 = exposición solar permanente, 3 = sol en la tarde). La presencia de larvas fue determinada entre agosto y diciembre del 2004 en 50 plántulas sembradas en el sitio de estudio.

Tabla 19. Comparación de frecuencia de larvas entre sitios y tratamientos de exposición solar: 1 = sol en la mañana, 2 = exposición solar permanente y 3 = sol en tarde. En paréntesis aparece la desviación estándar. Valores que comparten el símbolo | no exhiben diferencias significativas de acuerdo con los resultados del ANAVA (Apéndice 2.A.9).

Variable			Frecuencia de larvas
Sitio	Mar Negro	n = 25	2.00 (1.08)
	Aguirre	n = 25	3.00 (1.36)
Tratamiento Exposición solar	Tratamiento 1	n = 20	2.30 (1.03)
	Tratamiento 3	n = 19	2.32 (1.42)
	Tratamiento 2	n = 11	3.55 (1.04)

El análisis de varianza y el de medianas señalan que la frecuencia de larvas es significativamente diferente entre sitios siendo más alta en Aguirre (Tabla 19). También

existe diferencia significativa en la frecuencia de larvas y el tratamiento de exposición solar empleado. Los sitios con exposición solar permanente tienen una frecuencia de larvas más alta que los sitios con sombra. Este resultado podría estar relacionado con la ubicación ya que los sitios con exposición solar permanente están localizados en áreas abiertas de fácil acceso para las mariposas que buscan donde colocar sus huevos.

Factores que modifican la sobrevivencia de A. germinans en el área de estudio

Después de 6 meses la sobrevivencia de las plántulas transplantadas fue del 42%, representada principalmente por la sobrevivencia del 72% de las plántulas de Mar Negro en comparación con solo el 12% de sobrevivencia en Aguirre. Las diferencias entre Aguirre y Mar Negro son significativamente diferentes de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Apéndice 2. A.10). No existe diferencia significativa en la sobrevivencia de plántulas creciendo bajo diferentes tratamientos de exposición solar en el área de Mar Negro ni entre tratamientos en Aguirre. Sin embargo la sobrevivencia de plántulas en el tratamiento 2 de ambos sitios fue mayor en comparación con los otros tratamientos.

Las plántulas del tratamiento 2 de cada sitio de trasplante tenían, a diferencia de las otras plántulas, protección contra la inundación. En este tratamiento de exposición solar permanente se observó mayor presencia de larvas. Esto indica que las larvas a pesar de incidir en el desarrollo foliar de las plántulas no previenen su establecimiento y sobrevivencia bajo las condiciones observadas. Debido al tipo de diseño experimental no es posible discernir entre cual de los dos factores, exposición solar permanente o protección contra la inundación, tiene mayor peso en la sobrevivencia de las plántulas.

De acuerdo con observaciones de campo en el extremo Oeste de Mar Negro ocurrió establecimiento de *A. germinans* en sitios expuestos a la radiación solar permanente y niveles de inundación inferiores a 15 cm. Estas plántulas a pesar de que también fueron atacadas por larvas de *Junonia evarete* sobrevivieron al final de la época húmeda. Estas observaciones sugieren que la exposición solar y la herbivoría por parte de *J. evarete* no afectaron la sobrevivencia de las plántulas.

Ya que la única diferencia aparente entre los sitios de trasplante en Mar Negro y los sitios donde ocurrió establecimiento natural fue el nivel de inundación, 26 y 15 cm,

respectivamente, los resultados indican que el factor de mayor incidencia en la sobrevivencia de las plántulas fue el control de la inundación con tubos de PVC.

5. DISCUSIÓN

La mortalidad del manglar en la Reserva de Investigación Estuarina de la Bahía de Jobos durante la década de los noventa ha sido atribuida a la hipersalinidad del sustrato ocasionada por cambios en el sistema hídrico (González y Robles, 2002).

Sin embargo desde 1978 Cintrón *et al.*, describieron las características de aridez, formación de salitrales y mortalidad del manglar en el área. Estos autores mencionan que ciclos de mortalidad y expansión del manglar en costas áridas ocurren como respuesta a eventos climáticos.

El análisis de fotografías aéreas del área de Mar Muerto señala un cambio continuo pero no lineal en la cobertura de manglar entre 1963 y el 2002. La pérdida total de manglar en este período fue de 2.15 km², el 50% de la cobertura medida para 1963. De este análisis se puede establecer que eventos de mortalidad previos al reportado para la década de los noventa han tenido lugar en la Reserva. La mortalidad del manglar esta asociada a cambios hídricos que estan relacionados con la actividad humana pero que también pueden obedecer a ciclos naturales de mortalidad como los descritos por Cintrón *et al.* (1978).

De acuerdo con Cintrón *et al.* (1978) y Elster *et al.* (1999a) los períodos de máxima mortalidad del manglar concuerdan con fluctuaciones extremas en salinidad e inundación. Por lo tanto las variaciones anuales en los niveles de precipitación pueden acelerar el proceso de degradación del manglar o desacelerarlo e incluso estimular su recuperación. Bajos niveles de precipitación y las fluctuaciones de estos niveles entre años influyen en los niveles de inundación y salinidad del área. Un ejemplo de esto fue la rápida disminución de la salinidad en el sector Mar Negro de la Reserva luego del paso de la tormenta tropical Jeanne el 16 de septiembre del 2004, donde la salinidad cambió de 43 a 15, en la escala de salinidad práctica, en un período de 6 días, evidenciando como un evento atmosférico puede modificar las condiciones edáficas del sitio.

La microtopografía es un factor importante en los bosques de manglar ya que interfiere en el lavado de las sales acumuladas en el suelo al modificar el flujo de agua de escorrentía, además determina la profundidad de la inundación y afecta el alcance de la

penetración mareal. La microtopografía puede verse alterada por procesos naturales o antrópicos que ocasionan subsidencia local por la erosión acelerada de la capa orgánica y la descomposición de las raíces del manglar al quedar descubiertas (Bird, 1984). En la Reserva los canales de riego que existían en las tierras de cultivo aledañas y que llegaban hasta el manglar fueron cerrados con maquinaria pesada cambiando probablemente la topografía natural del lugar y afectando el flujo del agua de escorrentía (Comunicación oral Empleados de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos).

En la descripción de la zonación del manglar en ambientes áridos Cintrón *et al.* (1978) mencionan que el desarrollo de árboles de gran estatura en la transición entre la tierra y el mar impide la circulación del agua hacia el interior ocasionando hipersalinidad. En estos sitios coloniza *A. germinans* pero cuando la salinidad sigue aumentando el crecimiento es arbustivo hasta que las condiciones se tornan tan restrictivas que los arbustos mueren dando paso a la formación de salitrales y lagunas hipersalinas. Los autores mencionan que el cierre de canales naturales y la muerte del manglar en las partes internas son comunes en la costa sur de Puerto Rico y citan el caso del “Barrio Las Mareas”, localizado al oeste de Mar Negro en el área de estudio.

De acuerdo con Cintrón *et al.* (1978) el proceso de formación de salitrales puede ser reversible si se abren los canales de circulación por efecto de tormentas y/o huracanes y se lavan las sales del suelo. Por esta razón es importante reconocer y proteger los salitrales como parte del ecosistema de manglar, ya que eventualmente estas áreas pueden ser recolonizadas naturalmente. Esta descripción se ajusta al escenario actual de la Reserva sugiriendo que la mortalidad de mangle negro, su desarrollo estructural limitado y la falta de establecimiento obedecen a la dinámica natural y la zonación del manglar en costas áridas, acelerado por el cambio en el sistema de riego, el cierre de canales de drenaje y el desarrollo industrial y urbano.

Las características estructurales que presentaba el manglar antes del evento de mortalidad y que pueden ser apreciadas en el área de estudio por los troncos y sistemas radiculares de árboles muertos, son notables considerando las condiciones de aridez de esta zona donde la acumulación de sales en el suelo puede alcanzar 2.6 veces la salinidad

del mar. Bajo estas condiciones *Avicennia* que es el género del manglar más tolerante a condiciones edáficas extremas se desarrolla normalmente como un arbusto de menos de un metro de altura (Cintrón & Schaeffer, 1984). Esto deja en evidencia que el desarrollo alcanzado por el manglar en el área de estudio obedecía a aportes de nutrientes y agua dulce que no corresponden a las condiciones naturales del sitio y que mantuvieron la salinidad por debajo del límite de tolerancia de *A. germinans*.

Los resultados demuestran que la concentración de la salinidad en el sitio de estudio es estacional y depende del contenido de humedad y nivel de inundación. Durante los meses de mayor humedad y mayor sequía no se encontraron diferencias significativas de la salinidad entre la zona de mortalidad (Mar Negro) y el control (Aguirre). Los meses entre septiembre y diciembre fueron los más húmedos y la inundación promedio en Aguirre (Transecto 3) y Mar Negro (Transectos 1 y 2) fue de 19 y 22 cm, respectivamente, coincidiendo con los niveles más bajos de salinidad en sedimentos medidos durante el período de muestreo: 29, 34 y 28 en los transectos 1, 2 y 3, respectivamente. Los meses de mayor salinidad ocurrieron entre enero y mediados de mayo coincidiendo con los meses más secos del año, con salinidades máximas de 165 en sedimentos de Mar Negro y de 131 en Aguirre. La salinidad máxima a la que se observó mangle negro creciendo naturalmente en Mar Negro fue 124. Este comportamiento coincide con los resultados encontrados en Belice por McKee (1993) quien registró cambios en salinidad del agua intersticial de 65 a 37, para los meses de junio-julio y diciembre-enero, respectivamente. Elster *et al* (1999) encontraron valores de salinidad de hasta 120 en sedimentos superficiales en el Caribe Colombiano durante la estación seca.

Los resultados de Elster *et al* (1999) para el Caribe Colombiano mostraron menor fluctuación de la salinidad en bosques conservados en comparación con sitios disturbados donde la salinidad fue significativamente mayor. Estos resultados no coinciden con lo observado en la Reserva donde valores extremos de salinidad ocurrieron durante la misma época tanto en el sitio de mortalidad como en el control.

Experimentos de crecimiento y sobrevivencia de propágulos en diferentes salinidades bajo condiciones controladas, señalan que *A. germinans* tiene mejor

crecimiento y sobrevivencia en tratamientos sin salinidad. Estos resultados resaltan la condición de halófito facultativa de *A. germinans*, indicando que a diferencia de *Avicennia marina* no requiere de sales para su desarrollo óptimo (Tuffers *et al*, 2001). La salinidad máxima a la que se registró crecimiento de *A. germinans* bajo condiciones de vivero fue 65, sin embargo en agua dulce alcanzó mejor desarrollo y sobrevivencia. La altura alcanzada por las plántulas creciendo en 35 y 65 fue similar sin embargo las plántulas cultivadas sin sales superaron significativamente su altura. La sobrevivencia en plantas de salinidad 35 fue superior en comparación con las de 65. Las plántulas del tratamiento de salinidad 95 murieron en los primeros cinco días del estudio. En experimentos futuros se debe evaluar el crecimiento y sobrevivencia de *A. germinans* en salinidades entre 65 y 95.

La distribución de la precipitación a lo largo del año no solo afecta los patrones de inundación y salinidad sino que incide en la producción, dispersión, establecimiento y sobrevivencia de los propágulos. Durante la época seca individuos de *A. germinans* en el área de Mar Negro mostraron signos de estrés como pérdida de hojas, ramas y flores y algunos arbustos se secaron completamente, en especial individuos de poca altura y limitado desarrollo foliar. El análisis de densidad de individuos de *A. germinans* en Mar Negro y Aguirre mostró diferencias significativas. Se encontró un establecimiento de 0.45 plántulas/m²/año en Aguirre mientras que en Mar Negro el establecimiento fue de 0.1 plántulas/m²/año durante todo el período de estudio. Jiménez & Lugo (2000) reportaron tasas de establecimiento de mangle negro de 0.06 plántulas/m²/año y Toledo *et al* (2001) de 0.02 plántulas/m²/año en una Laguna costera de la zona árida de Baja California (USA). Estos resultados indican que bajo condiciones naturales el establecimiento de mangle negro es lento y que el observado en la reserva es superior con relación a lo encontrado para otros lugares.

El conteo de semillas sugiere que la producción de semillas entre los meses de agosto a diciembre (época húmeda) fue mayor en Aguirre (control) que en Mar Negro (área de mortalidad) con excepción del área norte de Mar Negro donde existen individuos de mangle negro con características estructurales similares a las de Aguirre. Este

resultado señala que el desarrollo estructural de *A. germinans* que predomina actualmente en Mar Negro afecta negativamente la producción de semillas y limita su disponibilidad. Cintrón & Schaeffer (1984) mencionan que la tasa de recuperación del manglar es función del tamaño del área perturbada y de su proximidad a fuentes de semillas. Por lo tanto se estima que la recolonización natural en Mar Negro será muy lenta sino se siembran semillas y/o plántulas en el sistema.

Experimentos para determinar establecimiento de propágulos en áreas delimitadas del sitio de estudio indicaron que la retención de semillas es muy baja tanto en el área de mortalidad como en el control, siendo el factor que en primera instancia controla el establecimiento natural.

La inundación es uno de los factores que afecta la retención y/o pérdida ya que las semillas son arrastradas por la corriente y los propágulos requieren que los niveles de inundación disminuyan para poder anclar sus raíces. En un estudio realizado por Lema *et al* (2003) en manglares de la Guajira (Caribe Colombiano) se observó que la dispersión de *A. germinans* ocurrió lejos del sitio de liberación. Todos los propágulos salieron del sistema en la segunda semana del estudio señalando que las semillas de *A. germinans* se dispersan lejos de su parental a menos de que sean retenidas por alguna estructura natural o que el nivel de inundación disminuya. Lema *et al* (2003) mencionan que las ramas y neumatóforos retienen temporalmente los propágulos que son arrastrados posteriormente por la corriente hasta ser retenidos por otras estructuras o salir del sistema. Schubert (1998) y Lema *et al* (2003) resaltan la importancia de especies herbáceas rastreras como *Batis marítima* y *Sesuvium portulacastrum* en la retención de propágulos y sugieren que tienen un papel de especie nodriza ya que protegen los propágulos de la desecación favoreciendo su sobrevivencia.

Lo anterior coincide con observaciones de campo realizadas en el área norte del sector Mar Negro en la Reserva donde el nivel de inundación es menor en comparación con el área sur y se encuentran propágulos y plántulas creciendo en parches de *S. portulacastrum* aislados y alrededor de árboles de *A. germinans*.

En todos los sitios de estudio dentro de las trampas y en los alrededores se notó gran actividad de crustáceos en particular de la especie *Uca pugnax* cf. y durante la época húmeda se observó *Callinectes* sp. y *Goniopsis cruentata*, este último asociado a la corteza de mangle negro en Aguirre. Se hallaron semillas mordidas en algunas ocasiones pero no se obtuvo suficiente información para comprobar la depredación por crustáceos.

La depredación de propágulos de *A. germinans* ha sido ampliamente reportada; especialmente el consumo por crustáceos de la familia Grapsidae, lo que puede representar la exclusión de la especie cuando el consumo de propágulos alcanza el 100% (Smith, 1987; Smith *et al*, 1989; McKee, 1995; Dahdouh-Guebas *et al*, 1998; Lema *et al*, 2003). Sin embargo estudios realizados en Belice, Sur de la Florida, Centro América y el Caribe sugieren que la depredación en manglares neotropicales tiene menor efecto en el reclutamiento y establecimiento de los propágulos en comparación con manglares de Asia, Africa y Australia (Smith *et al.*, 1989; McKee, 1993; McKee & Faulkner, 2000).

Aunque las tasas de pérdida de semillas son similares en Aguirre y Mar Negro, alrededor de 2 semillas/m²/día, la baja producción de semillas y la falta de estructuras para retener las semillas en el sector Mar Negro promueven que este sea un factor limitante en el establecimiento natural de *A. germinans*. De igual forma la retención y anclaje de semillas en ambos sitios, Aguirre y Mar Negro, impiden el establecimiento en nuevas áreas. En los experimentos donde se introdujeron semillas en mallas completamente cerradas se observó establecimiento de algunos propágulos. Esto puede deberse a diferentes factores como: la sombra proporcionada por las mallas, el estar aislados de posibles depredadores y/o el tener una superficie para anclarse sin ser arrastrados por el agua lo que sugiere que el uso de estructuras artificiales que no modifiquen el flujo de agua pero minimicen el arraste de plántulas y semillas podría favorecer la retención y establecimiento.

Cuando se transplantaron plántulas previamente cultivadas al área de estudio se obtuvo un crecimiento mayor e intermedio en plántulas cultivadas en salinidades de 35 y 0, respectivamente. Este resultado sugiere que plántulas sometidas a salinidades de 35 desde su cuarta semana de germinación, se adaptan con mayor facilidad a las

fluctuaciones de salinidad que se presentan en condiciones naturales. Las plantas cultivadas en salinidad 0 y 65 pueden también adaptarse pero su crecimiento y sobrevivencia es menos exitoso de acuerdo con los resultados obtenidos. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Toledo *et al* (2002) quienes cultivaron *A. germinans* en salinidades alrededor de 33 y luego de dos años de haber sido transplantadas registraron una sobrevivencia de 74%.

El crecimiento y sobrevivencia de las plántulas transplantadas fue significativamente mayor en Mar Negro que en Aguirre. De igual forma las plántulas expuestas a radiación solar permanente y protegidas con tubos de PVC (método modificado de Riley & Salgado, 1999) presentaron mejor crecimiento y sobrevivencia en ambos sitios. Debido al bajo número de plantas que sobrevivieron la fase de vivero y que fueron transplantadas al campo no es posible discernir cual de los dos factores, protección con tubos de PVC o exposición solar permanente, tiene un mayor efecto en el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas.

Al comparar el crecimiento de *A. germinans* en bosques de dosel abierto y cerrado se encontró un mejor crecimiento en sitios de dosel abierto cuando la salinidad, la temperatura y la disponibilidad de agua no fueron restrictivas (Elster *et al*, 1999a); los mismos autores determinaron que la mortalidad de los propágulos durante la época húmeda en el Caribe Colombiano fue controlada por la inundación. De acuerdo con lo anterior los resultados obtenidos para la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos sugieren que el tratamiento de exposición solar permanente favoreció el crecimiento de las plántulas y la protección de los tubos de PVC aumentó la sobrevivencia de *A. germinans*.

Con la información obtenida en este estudio no es posible establecer con certeza como los tubos de PVC benefician el desarrollo y sobrevivencia de las plántulas transplantadas. Sin embargo de acuerdo con las observaciones realizadas en campo se estima que los tubos de PVC evitan que las plántulas queden sumergidas completamente durante la época de máxima inundación, aumentando su capacidad fotosintética en comparación con plántulas sin tubos de PVC. También disminuyen el efecto de la corriente y el viento que erosionan y desestabilizan el suelo alrededor de las plántulas.

La salinidad medida en el agua de inundación en los sitios de trasplante osciló entre 6 y 32 en Aguirre y entre 16 y 51 en Mar Negro, ya que el crecimiento y sobrevivencia fueron mayores en Mar Negro que en Aguirre, concluimos que la salinidad no es un factor que controla el crecimiento de las plántulas durante la época húmeda. El mayor nivel de inundación en los sitios de trasplante con exposición solar permanente y tubos de PVC de Mar Negro y Aguirre fue de 26 cm y 20 cm, respectivamente. Sin embargo el sitio de trasplante sin tubos de PVC y exposición solar en la tarde de Aguirre también presentó niveles de inundación de 20 cm. A pesar de que en dos tratamientos de exposición solar diferentes en Aguirre se registró el mismo nivel de inundación promedio se observó mayor sobrevivencia en plántulas del tratamiento de exposición solar permanente y tubos de PVC. La sobrevivencia de las plántulas con exposición solar permanente y tubo de PVC de Mar Negro fue mayor en comparación con plántulas del mismo tratamiento en Aguirre. De estos resultados se puede concluir que los tubos de PVC favorecieron la sobrevivencia de las plántulas.

Larvas del lepidóptero *Junonia evarete* fueron observadas en Aguirre una semana después de transplantar las plántulas al sitio de estudio. Las larvas de esta especie se encontraron alimentándose de hojas y tallos de las plántulas. Después de 5 semanas del trasplante se encontraron, por primera vez, larvas en las plantas de Mar Negro. Esta observación coincidió con el paso de la tormenta tropical Jeanne (16 de septiembre del 2004). Elster *et al* (1999b) y Saur *et al* (1999) encontraron que la presencia de *J. evarete* en el manglar ocurre durante la época de lluvia, esto concuerda con las observaciones realizadas en la Reserva, donde se registraron larvas y mariposas de *J. evarete* entre los meses de agosto y diciembre. Saur *et al* (1999) estudiaron el efecto de las larvas de *J. evarete* en los crecimientos negativos de las especies del manglar en Guadalupe (Antillas menores) y Elster *et al* (1999b) en el Caribe Colombiano.

Durante la época húmeda ocurre mayor producción y establecimiento de propágulos (Elster *et al*, 1999a; Lema *et al*, 2003) los cuales representan la principal fuente de alimento de las larvas de *J. evarete*. En la Reserva se encontró mayor frecuencia de las larvas en Aguirre (control) que en Mar Negro (área de mortalidad). La herbivoría generó decrecimientos en la altura de los tallos en ambos sitios ocasionando

una alta variabilidad en los datos. Se encontró mayor frecuencia de las larvas en el tratamiento 2 (exposición solar permanente) de ambos sitios lo que podría explicarse por ser sitios de fácil acceso para las mariposas que buscan donde depositar sus huevos. Esta observación concuerda con lo encontrado por Elster *et al* (1999b) quienes detectaron mayor herbivoría en propágulos y plántulas localizadas en sitios abiertos y disturbados en comparación con sitios protegidos por un techo pequeño o sitios bajo el dosel del bosque. Estos autores también mencionan que en sitios abiertos las plántulas que tienen algo de sombra presentan una menor tasa de herbivoría en comparación con plántulas sin sombra. Sin embargo, es posible que en los sitios más expuestos, donde se presenta mayor frecuencia de *J. evarete*, el abastecimiento de alimento para las larvas sea limitado por encontrarse distantes de otros sitios con vegetación.

Ya que los tratamientos con la frecuencia más alta de larvas coinciden con los sitios de mayor crecimiento y sobrevivencia se concluye que la herbivoría ocasionada por *J. evarete* no fue la causa de mortalidad en las plántulas transplantadas en la Reserva. Estos resultados difieren de lo encontrado por Elster *et al* (1999b) para el Caribe Colombiano donde se registró mortalidad hasta del 100% en *A. germinans* ocasionada por herbivoría de *J. evarete*. Adicionalmente, Elster *et al* (1999b) concluyen que *J. evarete* fue la principal causa de mortalidad de propágulos y plántulas de *A. germinans* en las áreas disturbadas.

Los resultados encontrados para la Reserva no apoyan esta conclusión ya que los valores más altos de sobrevivencia ocurrieron en Mar Negro (área de mortalidad) en sitios donde se encontró la mayor frecuencia de larvas. Aunque la herbivoría no sea la causa de mortalidad el efecto combinado de niveles altos de inundación y herbivoría hacen más susceptibles a las plántulas lo que posteriormente puede ocasionar su muerte.

Saur *et al* (1999) no encontraron diferencia significativa en la herbivoría entre dos sitios con características estructurales diferentes comparables con las de las de Aguirre y Mar Negro. Sin embargo mencionan que los efectos fisiológicos de la herbivoría deben ser considerados no solo por la pérdida de biomasa sino por los cambios que produce en los flujos internos de carbono y minerales en las plántulas.

En el caso de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos es difícil diferenciar cuando la mortalidad en el manglar obedece a procesos naturales de zonación y cuando al resultado de actividades antrópicas como cambios en la hidrología, sobreexplotación del acuífero, contaminación y desviación de cauces, debido a la intensa actividad agrícola e industrial que ha tenido lugar en el área. Lo que puede establecerse con claridad es que las características estructurales del manglar que allí existía, del cual todavía quedan indicios en el sector Mar Negro, eran excepcionales considerando las condiciones climáticas que predominan en el sector. El desarrollo estructural que alcanzó este ecosistema sugiere que adiciones significativas de agua dulce y nutrientes, resultado del sistema de riego empleado en el cultivo de la caña de azúcar desde finales del siglo XIX y del acuífero que fluía libremente hacia la superficie dadas sus características de confinamiento y constante recarga, aportaron a este crecimiento.

La composición y estructura que presenta el manglar actualmente en la Reserva corresponde a procesos de zonación y condiciones de estrés naturales impuestas por la aridez. McKee (1993) menciona que cuando las condiciones ambientales inhiben el crecimiento del manglar sin causar mortalidad, la fisonomía de la vegetación cambia como costo asociado a sobrevivir bajo condiciones de estrés.

Valores máximos de salinidad durante los meses de sequía pueden inhibir el crecimiento de individuos de mangle negro ya establecidos e incluso causar su muerte. Sin embargo ya que la máxima producción de semillas ocurre en la época más húmeda cuando la salinidad disminuye, es claro que la salinidad no es el factor que limita la colonización. Son factores como la baja producción y retención de semillas en Mar Negro los que controlan la colonización de nuevas áreas. La baja retención de semillas puede, incluso por sí sola, evitar el establecimiento de propágulos en sitios sin señales evidentes de estrés, como es el caso de Aguirre.

De acuerdo con Odum (1981) debido a la resiliencia propia de los ecosistemas estos pueden recuperarse espontáneamente después de una perturbación y revertir a un estado similar al que tenían previamente. Sin embargo si la perturbación continúa el sistema solo alcanzará un nivel más bajo de organización.

Actualmente en la Reserva no existen tensores antrópicos que actúen de forma crónica en el manglar del sector Mar Negro, sin embargo la intercepción y desvío de aguas de escorrentía y sobreexplotación del acuífero, entre otros factores pueden interferir en el desarrollo del manglar y acentuar su degradación.

En algunos casos la actividad antrópica puede tener efectos aparentemente positivos en los ecosistemas, como lo fue el sistema de riego en el caso de la Reserva y como se ha evidenciado por los crecimientos atípicos en manglares y humedales que son fertilizados por la descarga de aguas residuales (Field, 1995). Sin embargo cuando se retira la perturbación en este caso considerada positiva ocurre una degradación rápida del ecosistema. Convirtiéndose la perturbación positiva en una negativa. Aunque la adición de nutrientes por aguas usadas favorece en la mayoría de los casos el desarrollo de la vegetación puede generar efectos nocivos en los organismos que habitan en el ecosistema, por lo tanto bosques de gran tamaño y desarrollo estructural avanzado no indican necesariamente que el ecosistema es saludable y funciona adecuadamente (Field, 1995; McKee & Faulkner, 2000).

Fenómenos naturales como huracanes y tormentas tropicales podrían tener un efecto positivo en el ecosistema al abrir canales de circulación y lavar las sales, sin embargo también pueden actuar como perturbaciones naturales ocasionando inundación mareal, destrucción y volcamiento de árboles. De igual forma períodos prolongados de sequía pueden ser eventos recurrentes que disminuyan la tasa de recuperación del manglar.

Aunque no existe un tensor permanente en el manglar de Mar Negro este ecosistema no podrá naturalmente volver a un estado similar al que tenía antes del evento de mortalidad. Lo que se espera es que este sistema conserve las características estructurales que predominan actualmente. Sin embargo debido a la disminución de árboles semilleros en la zona la siembra de semillas y/o plántulas debe ser implementada para acelerar la recolonización.

Prácticas de manejo como la siembra de plántulas cultivadas previamente en el vivero, en combinación con el uso de tubos de PVC pueden ser desarrolladas. Estas prácticas a pesar de ser efectivas, mostrando una sobrevivencia del 52% en un período de

12 meses, implican alto costo y esfuerzo. Una práctica económica y fácil de ejecutar podría ser el uso de estructuras similares a las trampas usadas en el experimento de retención de semillas, donde se encontraron algunas plántulas establecidas al final del muestreo. El uso de estas estructuras puede favorecer la retención y anclaje de semillas y promover la recolonización de *A. germinans* a largo plazo en manglares perturbados con bajas tasas de establecimiento natural.

6. CONCLUSIONES

- En el sector Mar Negro donde se registra mortalidad del manglar predominan condiciones hipersalinas durante todo el año, excepto entre los meses de octubre y diciembre cuando ocurre mayor precipitación y mareas más altas. Durante los meses de sequía entre finales de enero y principios de mayo, la falta de agua y los valores extremos de salinidad limitan el crecimiento y la sobrevivencia de la vegetación.
- Aunque la producción de semillas es mayor en el control (Aguirre) que en el área de mortalidad (Mar Negro) la retención de propágulos es baja en ambos sitios. Estos factores son responsables de la baja tasa de establecimiento natural, 0.1 y 0.45 semillas/m²/año en Mar Negro y Aguirre, respectivamente.
- Períodos prolongados de sequía o humedad tienen un impacto negativo en el establecimiento, desarrollo y sobrevivencia del manglar. Durante la época de mayor inundación los valores de salinidad son propicios para el desarrollo de las plántulas sin embargo pueden limitar el anclaje y establecimiento de los propágulos.
- En condiciones de campo se registró sobrevivencia de *A. germinans* en sitios que alcanzaron salinidades máximas de 124 mientras que bajo condiciones de vivero se encontró que *A. germinans* puede cultivarse en salinidad 65 pero no en salinidad de 95. Todavía es necesario determinar el crecimiento y sobrevivencia de esta especie en el rango de salinidad entre 65 y 95. Las plántulas cultivadas en salinidad 0 presentaron mejor desarrollo y sobrevivencia en comparación con las otras salinidades.
- Debido a la alta variabilidad de los datos el análisis estadístico no indica diferencias en el crecimiento y sobrevivencia de plántulas transplantadas cultivadas previamente en concentraciones diferentes de salinidad, sin embargo el mayor valor de crecimiento promedio y sobrevivencia se obtuvo en plántulas transplantadas que fueron cultivadas en salinidad 35.

- Sin tener en cuenta la salinidad de cultivo las plántulas que mejor crecimiento y sobrevivencia tuvieron fueron las sembradas en tubos de PVC.
- La presencia del lepidóptero *Junonia evarete* coincide con la temporada de lluvias entre septiembre y diciembre y niveles bajos de salinidad. Se alimenta preferencialmente de tallos y hojas de plántulas y en algunos casos de hojas nuevas de arbustos. Su frecuencia es mayor en sitios abiertos y aunque puede consumir totalmente las hojas de una plántula, de acuerdo con los resultados aquí encontrados, no induce mortalidad y en la mayoría de los casos las plántulas renuevan sus hojas. Sin embargo las plántulas más afectadas por la herbivoría presentaron menor sobrevivencia, lo que sugiere que la herbivoría hace las plántulas más susceptibles a factores edáficos extremos.
- La sobrevivencia del 52% de las plántulas transplantadas en el sector Mar Negro después de 12 meses, indica que la recolonización de *A. germinans* en el sector Mar Negro es viable. Sin embargo debido a la baja producción y retención de semillas se deben implementar prácticas de manejo tales como: siembra de plántulas cultivadas previamente en el vivero y uso de tubos de PVC como protección contra niveles extremos de inundación y el efecto erosivo y desestabilizante de la corriente y el viento. El uso de estructuras para retener semillas, similares a las trampas usadas en este estudio, pueden favorecer la retención y anclaje de propágulos y acelerar la recolonización.

7. RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos y observaciones realizadas durante el estudio se recomienda el transplante de plantas de *A. germinans* cultivadas previamente en el vivero y sembradas dentro de tubos de PVC o en una estructura similar que sirva como protección contra niveles altos y frecuentes de inundación y contra el efecto erosivo y desestabilizante del viento y la corriente.
- El cultivo de plántulas con agua dulce representa una ventaja ya que se obtienen porcentajes altos de sobrevivencia y crecimiento rápido. Esto a su vez disminuye la posibilidad de que las plantas sean cubiertas completamente por el agua cuando se presentan niveles máximos de inundación.
- En este estudio las plántulas fueron cultivadas durante un período de 6 meses, desde el momento en que las semillas fueron colectadas. Si el tiempo de cultivo es mayor se pueden obtener plantas de mayor altura y mayor tolerancia a factores como: inundación y herbivoría. Sin embargo los costos de mantenimiento en el vivero, el transporte al campo y el transplante también aumentarían por lo cual deben ser considerados.
- Los sitios de transplante en este estudio mostraron inundación frecuente y la salinidad máxima medida en el agua fue de 70. Es importante seleccionar sitios que se inunden por lo menos durante la época de mayor humedad del año para garantizar la disolución y lavado de las sales.
- Se recomienda sembrar las plántulas entre los meses de junio y agosto, cuando comienza la época de lluvias. En esta época la salinidad disminuye mientras los niveles de inundación aumentan. La inundación excesiva se previene con los tubos de PVC.
- Una consideración adicional es la herbivoría, la cual se concentra durante los meses húmedos (agosto-diciembre) y afecta principalmente las plántulas jóvenes. Esta condición puede fluctuar entre años y tiene un efecto importante en la sobrevivencia.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Balaparameswara, M., Rao, P., Reddy, D., Rambabu, A. and Prasad, B. 1987. Ecological Changes in a Tropical Mangrove Ecosystem Due to Human Impact. *Trop. Ecol.* 28: 232-238.
- Ball, M. 1988. Ecophysiology of mangroves. *Trees* 2: 129-142.
- Bashan, Y., Moreno, M and Troyo, E. 2000. Growth promotion of the seawater-irrigated oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* inoculated with mangrove rhizosphere bacteria and halotolerant *Axospirillum* spp. *Biol. Fertil. Soils* 32:265-272.
- Bashan, Y. and Holguín, G. 2002. Plant Growth promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. *Trees* Vol. 16: 159-166.
- Baskin, C. and Baskin, J. 1998. Seeds, Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academy press. Printed in The United States of America. Pp. 524-528.
- Berrios, J., Canals, M., Ferrer, H., García, A., Gonzalez, J., Molinaris, A., Nieves, L., Pérez, R., Rivera, M., Silander, S and Villamil, J. 1981. Suplemento Técnico para El Plan de Manejo del Área de Bahía de Jobos. Villamil, J. & Canals, M. Editores. Departamento de Recursos Naturales. Puerto Rico. 329 pp.
- Bohórquez, C and Parda, C. 1996. Restoration of Mangroves in Colombia: A case study of Rosario's Coral Reef National Park. En: Field, C. Editor. p. 189-196.
- Botero, L and Salzwedel, H. 1999. Rahabilitation of the Cienaga Grande de Santa Marta, a mangrove-estuarine system in the Caribbean coast of Colombia. *Ocean & Coastal Management*, (42) 243-256.
- Boto, K. and Wellington, J. 1984. Soil characteristics and nutrient status in a northern Australian mangrove forest. *Estuaries* 71: 61-69.
- Cintrón, G., Lugo, A., Pool, D. and Morris, G. 1978. Mangrove of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica* 10:110-121.
- Cintrón, G. 1983. Coastal freshwater swamp forests: Puerto Rico's most endangered ecosystem? Pages 249-282 *In:* A. E. Lugo (Ed.) *Los bosques de Puerto Rico*. U.S. Forest Service, Rio Piedras, and Puerto Rico Department of Natural Resources, Puerta de Tierra, 321 pp.
- Cintrón, G. and Novelli, Y.S. 1984. Methods for studying mangrove structure. In: Snedaker S.C. and Snedaker J.C. (eds), *Monographs on oceanographic methodology*. UNESCO, Paris, pp. 91-115.

- Cintrón, G. 1994. Los bosques de manglar en Puerto Rico: Perspectiva histórica de la administración de estos terrenos. *Acta Científica* 8 (1-2): 51-56.
- Dahdouh-Guebas., Verneirt, M & Tack, J., Van Speybroeck, D. and Koedam, N. 1998. Propagule predators in Kenyan mangroves and their possible effect on regeneration. *Mar. Freshwater Res.* 49, 345-350.
- Davis, J. 1940. The ecology and geologic role of mangroves in Florida. Carnegie Inst. Wash. Pub. 32, 305-412.
- Din, N., Priso, R., Kenne, M., Ngollo, D and Blasco, F. 2002. Early growth stages and natural regeneration of *Avicennia germinans* (L.) Stearn in the Wouri estuarine mangroves (Douala-Cameroon). *Wetlands Ecology and Management*. 10: 461-472.
- Ellison, A. & Farnsworth, E. 1993. Seedling survivorship, growth, and Response to Disturbance in Belizean Mangal. *American Journal of Botany* 80(10): 1137-1145.
- Elster, C., Perdomo, L. and Schnetter, M-L. 1999(a). Impact of ecological factors on the regeneration of mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Hydrobiología*. 413: 35-46.
- Elster, C., Perdomo, L., Polania, J. & Schnetter, M.L. 1999(b). Control of *Avicennia germinans* recruitment and survival by *Junonia evarete* larvae in a disturbed mangrove forest in Colombia.
- Feller, I.C. 1993. Effects of Nutrient Enrichment on Growth and Herbivory of Dwarf Red Mangrove. Dissertation. University of Georgetown University. Washington D.C. p. 205.
- Field, C.D. 1995. Journey amongst Mangroves. International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan.
- Gómez G.F., 1991. Hydrochemistry of the South Coastal Plain Aquifer System of Puerto Rico and its Relation to Surface Water Recharge. Aquifers of the Caribbean Islands: papers presented at AWRA Internacional Symposium on Tropical Hydrology. AWRA Monograph Series, No 15, 1991.
- González, C & Robles, P. 2002. Jobos Bay Estuarine Profile: A National Estuarine Research Reserve. Editor: Ralph Field. p.107.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center, San Jose de Costa Rica. 206 p.

- Holguín, G; Guzmán, M and Bashan, Y. 1992. Two new nitrogen-fixing bacteria from the rhizosphere of mangrove trees: their isolation, identification and *in vitro* interaction with rhizosphere *Staphylococcus* sp. FEMS Microbiol. Ecol. 101: 207-216.
- Jiménez and Lugo. 2000. (<http://www.fs.fed.us/global/iitf/Avicenniagerminans.pdf>)
- Jimenez, J.A, Martínez, R. and Encarnación, L. 1985. Massive tree mortality in a Puerto Rican mangrove forest. Carb. J. Science. 21 (1-2): 75-78.
- Joshi, G.V., Sontakke, S., Bhosale, L. and Waghmode, A.P. 1984. Photosynthesis and photorespiration in mangroves. Chapter 1. In: Phytology and management of mangroves. Edited by H.J. Teas. 1-14 pp.
- Kjerfve, B. 1981. Tides of the Caribbean Sea. Journal of Geophysical Research. Vol. 86. No. C5. Pages 4243-4247.
- Koch, M. and Madden, C. 2001. Patterns of primary production and nutrient availability in a Bahamas lagoon with fringing mangroves. Marine Ecology Progress Series. Vol. 219: 109-119.
- Koenig, N. 1953. A Comprehensive Agricultural Program for Puerto Rico. Washington, D. C.
- Kusler, J.A. and Kentula, M.E. 1989. Wetland creation and restoration: the status of the science Vol I: regional reviews, II: perspectives. EPA/600/3-89/038a, b. Environmental Research Laboratory. Corvallis, Oregon.
- Laboy, E.N. 2001. Historia natural de la Bahía de Jobos/The natural history of Jobos Bay, Puerto Rico. InterAmerican University at Guayama, Puerto Rico. x + 141 pp.
- Laboy, E.N. 2002. Biological Setting. In: Jobos Bay Estuarine Profile: A National Estuarine Research Reserve. Editor: Ralph Field. Pp 40-55.
- Lacerda, L., Conde, J y Bacon, P. 1993. Ecosistemas de manglar de America Latina y el Caribe: Sinopsis. Pages 1-38 En: L. D. Lacerda y J. Polanía (Eds.) Conservación y aprovechamiento sostenible de bosques de manglar en las regiones de América Latina y Africa. International Tropical Timber Organization and International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan.
- Lee, S.Y. 1998. Ecological role of grapsid crabs in mangroves ecosystems: a review. Mar. Freshwater Res. 49, 335-343.
- Lema, L., Polanía, J. y Urrego, L. 2003. Dispersión y Establecimiento de las especies de mangle del Río Ranchería en el período de máxima fructificación. Rev. Acad. Colomb. Cienc.: Volumen XXVII, N. 102.

- Lewis, R.R. 1990. Creation and restoration of mangrove forests in Puerto Rico, the U.S. Virgin Islands. In: Kusler, J.A. and Kentula, M.E. (eds.) *Wetland Creation and Restoration. The Status of the Science*. Pp. 103-123. Island Press, Washington, D.C. xxv + 595 pp.
- Lugo, A.E. and S.C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* (5):39-64.
- Lugo, A. and Cintrón. 1975. The mangrove forests of Puerto Rico and their management. Pp. 825-846. En: G.E. Walsh, S.C. Snedaker & H.J. Teas (Eds.).
- Lugo A., Cintrón. y Goenaga. 1981. El ecosistema de manglar bajo tensión. Pp. 261-285. Memorias del seminario sobre el estudio Científico e impacto humano en el ecosistema de manglar. UNESCO. Montevideo. 405 pp.
- Lugo, E.A. 1989. Fringe wetlands. In: A.E. Lugo, M. Brinson, and S. Brown (editors). *Forested Wetlands: Ecosystems of the world* 15. pp. 143-169. Elsevier, Amsterdam.
- Lugo, E.A. 1998. Mangrove Ecosystem Research with Emphasis on Nutrient Cycling. *Ecology Today: An Anthology of Contemporary Ecological Research*: 279-305.
- Mallery, C.H and Teas, H.J. 1984. The mineral ion relations of mangroves. I. Root cell compartments in a salt excluder and a salt excreter species at low salinities. *Plant Cell Physiol.* 25: 1123-1131.
- Martínez, R., G. Cintrón, and Encarnación, L. 1979. Mangroves in Puerto Rico: A structural inventory. Department of Natural Resources, San Juan, Puerto Rico, 149 pp.
- Martínez, F. R. 1994. Estatus del Manejo y Reglamentación de los manglares en Puerto Rico. En: *El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: su manejo y conservación*. Editor: Daniel O. Suman. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida & The Tinker Foundation, New York.
- Management plan for the Jobos Bay National Estuarine Research Reserve. 2000. Commonwealth of Puerto Rico, Office of the Governor, Planning Board, San Juan, Puerto Rico, 226 pp.
- Mc. Clymonds, N.E. & Díaz, J.F. 1972. Water Resources of the Jobos Area, Puerto Rico: A preliminary Appraisal. *Water Resources Bulletin* 13.
- McKee, K.L. 1993. Determinants of mangrove species distribution patterns in neotropical forests: biotic and abiotic factors affecting seedling survival and growth. Ph.D. Dissertation. Louisiana State University.

- McKee, K.L. 1995. Seedling recruitment patterns in a Belizean mangrove forest: effects of establishment ability and physico-chemical factors. *Oecologia*, 101: 448-460.
- McKee, K.L. and Faulkner, P. 2000. Restoration of Biogeochemical Function in Mangrove Forests. *Restoration Ecology* Vol. 8 No. 3, pp. 247-259.
- McMillan, C. 1975. Interaction of soil texture with salinity tolerances of black mangrove (*Avicennia*) and white mangrove (*Laguncularia*) from North America. In: *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of mangroves*. Edited by: Walsh, G.E., Snedaker, S.C. and Teas, H.J. p. 561-566.
- Medina, E., Fonseca, H., Barboza, F. and Francisco, M. 2001. Natural and man-induced changes in a tidal channel mangrove system under tropical semiarid climate at the entrance of the Maracaibo lake (Western Venezuela). *Wetlands Ecology and Management* 9: 233-243.
- Milian, P.C. 1996. Mangrove Ecosystem Restoration in Cuba: A case study in Havana Province. En: *Restoration of Mangrove Ecosystems*. Field, C.D. Editor. p. 160-169.
- Morris, G. L. 2000. Hydrologic-Hydraulic and biological analysis of Jobos estuarine mangrove mortality Jobos, Puerto Rico. Greg L. Morris and Associates, San Juan, Puerto Rico, unpubl. rept.
- NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. 2004.
<http://www.cirrus.dnr.State.sc.us/cgi-bin/sercc/cliMONtpre.pl?pr0152>.
- Odum, E. P. 1981. The effects of stress on the trajectory of ecological succession. Pp. 43-47. En: G. W. Barret & R. Rosemberg (Eds.). *Stress effects on natural ecosystems*. John Wiley and Sons Ltd. 305 pp.
- Parsons, T., Maita. and Lalli, C. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. 173 p.
- Pérez, Ileana. 1995. Boletín Informativo de la Reserva Nacional de Investigación Estuarina de Bahía de Jobos. Vol 1. No 3.
- Pezeshki, S.R., DeLaune, R.D. and Patrick, W. H. 1989. Differential response of selected mangroves to soil flooding and salinity: gas exchange and biomass partitioning. *Canadian Journal of Forestry Research* 20: 869-874.
- Pool, D.J., Snedaker, S.C. and Lugo, A.E. 1977. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, Mexico, and Costa Rica. *Biotropica* 9: 195-212.
- Quiñones-Aponte, V. 1991. Water resources development and its influence on the water budget for the aquifer system in the Salinas to Patillas area, Puerto Rico. Pages

- 37-55 *In*: F. Gómez-Gómez, V. Quiñones-Aponte and A. I. Johnson (Eds.) Regional aquifer systems of the United States, aquifers of the Caribbean Islands. American Water Resources Association Monograph Series, no. 15.
- Quiñones-Aponte, V., F. Gómez-Gómez and R. A. Renken. 1997. Hydrogeology and simulation of ground-water flow in the Salinas to Patillas area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-463:37 pp.
- Rabinowitz, D. 1978. Early growth of mangrove seedling in Panama, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography* 5, 113-133.
- Riley, R.W and Salgado, C.K. 1999. Riley encased methodology: principles and processes of mangrove habitat creation and restoration. *Mangroves and Salt Marshes* 3: 207-213.
- Ruíz, I. and Lugo, A. 1999. Stand Dynamics of a south coast mangrove forest in Puerto Rico. *Acta Científica* 13 (1-3): 107-119.
- Santiago, H. 1995. Características del acuífero de Bahía de Jobos. *Bol. Inform. Res. Nat. Investig. Estuar. Bah. Jobos* 1(3):3.
- Saur, E. Imbert, D., Etienne, J. and Mian D. 1999. Insect herbivory on mangrove leaves in Guadeloupe: effects on biomass and mineral content. *Hydrobiologia* 413: 89-93.
- Schnetter, M.L. 2002. El sistema radical del mangle blanco (*Avicennia germinans*), un ejemplo de adaptaciones morfológicas y anatómicas en espermatofitos a condiciones ecológicas adversas. *Rev. Acad. Colombiana de Ciencias. Volumen XXVI, Numero 98. pp. 111-126.*
- Schubert, P. 1998. Verbreitung von Diasporen verschiedener Mangrovearten und deren Bedeutung für die Regeneration geschädigter Wälder. Diplomarbeit im Fachbereich Biologie. Justus Liebig-Universität Giessen. 143 p.
- Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, Departamento de Agricultura. 1977. Soil Survey of Humacao Area of Eastern Puerto Rico.
- Shaeffer-Novelli & Cintrón. 1988. Ecología del Manglar. En: Compendio Enciclopédico de los Recursos Naturales de Puerto Rico. pp. 1-111.
- Sharpe, J.M. 1999. Impacto del huracán Georges en el helecho de mangle *Acrostichum danaeifolium*. Boletín informativo de la Reserva nacional de Investigación Estuarina de Bahía de Jobos. Vol. 5 numero 1.
- Siddiqui, N.A, Islam, M.R, Khan, M.A.S, and Shahidullah, M. 1993. Mangrove nurseries

- in Bangladesh. ISME Occasional Papers No.1. ISME. Japan. 15 pp.
- Smith III., T.J. 1987. Seed predation in relation to tree dominance and distribute in mangrove forests. *Ecology* (68)(2), pp. 266-273.
- Smith III., T.J., Chan, H., McIvor, C. and Robblee, M. 1989. Comparisons of seed predation in mangrove forests from three continents. *Ecology* 70: 146-151.
- Snedaker, S and Araujo, R. 1998. Stomatal conductance and gas exchange in four species of Caribbean mangroves exposed to ambient and increased CO₂. *Mar. Freshwater Res.* 49, 325-327.
- Sobrado, M.A. 1999. Leaf photosynthesis of the mangrove *Avicennia germinans* as affected by NaCl. *Photosynthetica.* 36(4): 547-555.
- Sokal, R.R. - Rohlf, F.J. 1989. "Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica". H. Blume.
- Spalding, M.D., Blasco, F. and Field, C.D. (Eds). 1997. *World Mangrove Atlas*. The International Society for mangrove ecosystems, Okinawa, Japan. 178 pp.
- Stern, W.L., and Voigt, G.K. 1959. Effect of salt concentration on growth of red mangrove in culture. *Bot. Gaz.* 121(1): 36-39.
- Toledo, G., Bashan, Y and Soeldner, A. 1995. *In vitro* colonization and increase in nitrogen fixation of seedling roots of black mangrove inoculated by a filamentous cyanobacteria. *Can. J. Microbiol.* 41: 1012-1020.
- Toledo G., Rojas A. and Bashan Y. 2001. Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia* 444: 1001-109. Netherlands.
- Tomlinson, P.B. 1986. *The Botany of Mangrove*. Cambridge University Press. 413 p.
- Tuffers, A., Naidoo, G. and Villert, D. 2001. Low salinities adversely affect photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina*. *Wetlands Ecology and Management* 9: 225-232.
- USGS. United States Geological Survey. 1968. *Mapa Geológico de Puerto Rico*.
- Waisel, Y. 1972. *Biology of Halophytes. Physiological Ecology*. Academic Press. 395 p.

APÉNDICE 1.

Tabla 1. Temperatura del suelo en °C en estaciones ubicadas en los transectos estudiados en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos entre diciembre del año 2003 y noviembre del 2004. T1 y T2 indican transectos localizados en el área de Mar Negro y T3 el transecto de Aguirre. Las letras indican la ubicación de la estación en el transecto, (a) para la estación ubicada en el extremo norte del transecto y (e) para la estación ubicada en el extremo sur.

Estación	Diciembre	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
T1a	29.00	28.89	28.89	35.00	38.00	29.00
T1b	32.00	28.33	28.89	32.22	29.00	28.00
T1c	32.00	26.67	28.89	30.00	28.00	28.00
T1d	31.00	27.78	33.33	31.11	30.00	28.00
T1e	32.00	30.00	32.22	31.11	31.00	29.00
T2a	32.22	27.78	28.89	31.11	29.00	28.00
T2b	35.00	24.44	32.78	38.00	32.00	27.00
T2c	34.00	24.44	28.89	37.00	35.00	27.00
T2d	34.00	23.33	32.22	32.22	31.00	27.00
T2e	35.00	25.56	38.00	33.33	32.00	27.00
T3a	31.00	27.78	30.00	27.78	31.00	26.00
T3b	31.00	27.78	30.00	29.00	33.00	27.00
T3c	31.00	27.78	31.11	27.78	32.00	27.00
T3d	31.00	27.78	31.11	29.00	32.00	27.00
T3e	30.56	24.44	26.67	27.00	28.00	27.00

APÉNDICE 2.

A continuación se presentan los resultados de los análisis paramétricos y no paramétricos realizados para comparar variables bióticas y abióticas medidas entre octubre del 2003 y diciembre del 2004 en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.

A. Análisis Paramétrico:

1. Resultados Análisis de Varianza de la salinidad en sedimentos en estaciones de los transectos T1, T2 y T3.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
OCTUBRE	15	0.66	0.60	30.52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2911.12	2	1455.56	11.49	0.0016
MUESTRA	2911.12	2	1455.56	11.49	0.0016
SITIO	0.00	0	0.00		
Error	1519.74	12	126.64		
Total	4430.85	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=18.98870

Error: 126.6446 gl: 12

MUESTRA	Medias	n	
T3	17.89	5	A
T1	41.79	5	B
T2	50.94	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=13.04318

Error: 126.6446 gl: 12

SITIO	Medias	n	
Aguirre	17.89	5	A
Mar Negro	46.37	10	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DICIEMBRE	15	0.68	0.63	28.92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2929.12	2	1464.56	12.97	0.0010
MUESTRA	2929.12	2	1464.56	12.97	0.0010
SITIO	0.00	0	0.00		
Error	1354.67	12	112.89		
Total	4283.78	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=17.92781

Error: 112.8888 gl: 12

MUESTRA	Medias	n	
T3	17.89	5	A
T1	41.01	5	B
T2	51.31	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=12.31447**

Error: 112.8888 gl: 12

SITIO	Medias	n	
Aguirre	17.89	5	A
Mar Negro	46.16	10	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MARZO	15	0.84	0.81	23.85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24791.63	2	12395.82	31.37	<0.0001
MUESTRA	24791.63	2	12395.82	31.37	<0.0001
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	4741.52	12	395.13		
Total	29533.15	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=33.54054

Error: 395.1269 gl: 12

MUESTRA	Medias	n	
T3	28.95	5	A
T1	94.36	5	B
T2	126.69	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=23.03872**

Error: 395.1269 gl: 12

SITIO	Medias	n	
Aguirre	28.95	5	A
Mar Negro	110.52	10	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MAYO	15	0.28	0.16	17.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2084.18	2	1042.09	2.33	0.1395
MUESTRA	2084.18	2	1042.09	2.33	0.1395
SITIO	0.00	0	0.00		
Error	5363.31	12	446.94		
Total	7447.48	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=35.67200

Error: 446.9423 gl: 12

MUESTRA	Medias	n	
T3	103.69	5	A
T1	123.76	5	A
T2	131.70	5	A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)***Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=24.50281**

Error: 446.9423 gl: 12

SITIO	Medias	n	
Aguirre	103.69	5	A
Mar Negro	127.73	10	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
JUNIO	14	0.83	0.80	23.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8030.73	2	4015.37	26.51	0.0001
MUESTRA	8030.73	2	4015.37	26.51	0.0001
SITIO	0.00	0	0.00		
Error	1666.25	11	151.48		
Total	9696.98	13			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=21.82247

Error: 151.4773 gl: 11

MUESTRA	Medias	n	
T3	21.63	5	A
T1	61.17	5	B
T2	79.39	4	B

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)***Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=14.79278**

Error: 151.4773 gl: 11

SITIO	Medias	n	
Aguirre	21.63	5	A
Mar Negro	70.28	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SEPTIEMBRE	15	0.81	0.78	14.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2157.06	2	1078.53	25.12	0.0001
MUESTRA	2157.06	2	1078.53	25.12	0.0001
SITIO	0.00	0	0.00		
Error	515.12	12	42.93		
Total	2672.18	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=11.05518

Error: 42.9267 gl: 12

MUESTRA	Medias	n	
T3	28.72	5	A
T1	50.50	5	B
T2	56.67	5	B

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)***Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=7.59371**

Error: 42.9267 gl: 12

SITIO	Medias	n	
Aguirre	28.72	5	A
Mar Negro	53.59	10	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NOVIEMBRE		15	0.51	0.43 9.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	94.57	2	47.28	6.18	0.0143
MUESTRA	94.57	2	47.28	6.18	0.0143
SITIO	0.00	0	0.00		
Error	91.75	12	7.65		
Total	186.32	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=4.66566

Error: 7.6458 gl: 12

MUESTRA	Medias	n	
T3	27.73	5	A
T1	29.88	5	A B
T2	33.80	5	B

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)***Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=3.20480**

Error: 7.6458 gl: 12

SITIO	Medias	n	
Aguirre	27.73	5	A
Mar Negro	31.84	10	B

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)***2. Resultados Análisis de Varianza de la temperatura en sedimentos en estaciones de los transectos T1, T2 y T3.****Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Octubre	15	0.71	0.66	3.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29.97	2	14.98	14.84	0.0006
TRANSECTO	29.97	2	14.98	14.84	0.0006
Error	12.11	12	1.01		
Total	42.08	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=1.69530

Error: 1.0095 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T3	30.91	5	A
T1	31.20	5	A
T2	34.04	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diciembre	15	0.50	0.42	5.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26.49	2	13.25	6.00	0.0156
TRANSECTO	26.49	2	13.25	6.00	0.0156
Error	26.48	12	2.21		
Total	52.98	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=2.50664

Error: 2.2069 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T2	25.11	5	A
T3	27.11	5	A B
T1	28.33	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mayo	15	0.15	3.9E-03	8.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.05	2	7.52	1.03	0.3875
TRANSECTO	15.05	2	7.52	1.03	0.3875
Error	87.91	12	7.33		
Total	102.96	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=4.56709

Error: 7.3262 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T3	29.78	5	A
T1	30.44	5	A
T2	32.16	5	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Junio	15	0.65	0.59	6.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	98.20	2	49.10	10.91	0.0020
TRANSECTO	98.20	2	49.10	10.91	0.0020
Error	54.02	12	4.50		
Total	152.22	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=3.58012

Error: 4.5019 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T3	28.11	5	A
T1	31.89	5	B
T2	34.33	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p <= 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Septiembre	15	0.01	0.00	9.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.20	2	0.60	0.07	0.9285
TRANSECTO	1.20	2	0.60	0.07	0.9285
Error	96.40	12	8.03		
Total	97.60	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=4.78244

Error: 8.0333 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T1	31.20	5	A
T3	31.20	5	A
T2	31.80	5	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p <= 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Noviembre	15	0.71	0.66	1.76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.93	2	3.47	14.86	0.0006
TRANSECTO	6.93	2	3.47	14.86	0.0006
Error	2.80	12	0.23		
Total	9.73	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.81506

Error: 0.2333 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T3	26.80	5	A
T2	27.20	5	A
T1	28.40	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p <= 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Temp.Prom	15	0.56	0.49	3.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14.21	2	7.10	7.73	0.0070
TRANSECTO	14.21	2	7.10	7.73	0.0070
Error	11.03	12	0.92		
Total	25.24	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=1.61767

Error: 0.9191 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T3	28.50	5	A
T1	30.24	5	B
T2	30.77	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

3. Resultados Análisis de Varianza de temperatura diaria en los sedimentos de estaciones de los transectos T1, T2 y T3.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Temp.Diaria	3888	0.06	0.06	23.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10521.48	2	5260.74	119.88	<0.0001
Sitio	10521.48	2	5260.74	119.88	<0.0001
Error	170491.16	3885	43.88		
Total	181012.65	3887			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.62013

Error: 43.8845 gl: 3885

Columna4	Medias	n	
Aguirre	25.33	1296	A
Termoelectrica	28.48	1296	B
Bosque Jagueyes	29.08	1296	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

4. Resultados Análisis de Varianza de Carbono, Nitrógeno y Fósforo en sedimentos de la estación (c) de los transectos T1, T2 y T3.

Análisis de la varianza C

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Carbono	12	0.97	0.95	7.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.6E-05	3	2.5E-05	77.97	<0.0001
EPOCA	1.9E-06	1	1.9E-06	5.75	0.0434
TRANSECTO	7.4E-05	2	3.7E-05	114.08	<0.0001
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	2.6E-06	8	3.3E-07		
Total	7.9E-05	11			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00083

Error: 0.0000 gl: 7

EPOCA	Medias	n	
Mayo	0.01	6	A
Diciemb	0.01	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00127

Error: 0.0000 gl: 7

TRANSECTO	Medias	n	
T2	0.01	4	A
T1	0.01	4	B
T3	0.01	4	C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00086**

Error: 0.0000 gl: 7

SITIO	Medias	n	
MarNegro	0.01	8	A
Aguirre	0.01	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Análisis de la varianza N**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nitrógeno	12	0.94	0.92	15.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.3E-07	3	7.6E-08	45.78	<0.0001
EPOCA	8.0E-09	1	8.0E-09	4.85	0.0588
TRANSECTO	2.2E-07	2	1.1E-07	66.24	<0.0001
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	1.3E-08	8	1.7E-09		
Total	2.4E-07	11			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00006

Error: 0.0000 gl: 7

EPOCA	Medias	n	
Mayo	2.4E-04	6	A
Diciembre	2.9E-04	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00009**

Error: 0.0000 gl: 7

TRANSECTO	Medias	n	
T1	1.3E-04	4	A
T2	2.0E-04	4	A
T3	4.5E-04	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00006**

Error: 0.0000 gl: 7

SITIO	Medias	n	
MarNegro	1.7E-04	8	A
Aguirre	4.5E-04	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Análisis de la varianza P**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fósforo	12	0.53	0.35	25.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.0E-05	3	6.6E-06	2.95	0.0984
EPOCA	2.7E-06	1	2.7E-06	1.21	0.3037
TRANSECTO	1.7E-05	2	8.5E-06	3.82	0.0685
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	1.8E-05	8	2.2E-06		
Total	3.8E-05	11			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00218

Error: 0.0000 gl: 7

EPOCA	Medias	n
Mayo	0.01	6 A
Diciemb	0.01	6 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00333

Error: 0.0000 gl: 7

TRANSECTO	Medias	n
T3	4.2E-03	4 A
T1	0.01	4 A
T2	0.01	4 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00225

Error: 0.0000 gl: 7

SITIO	Medias	n
Aguirre	4.2E-03	4 A
MarNegro	0.01	8 B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Análisis de la varianza C/N

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C/N	12	0.97	0.96	9.18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2928.56	3	976.19	85.79	<0.0001
EPOCA	6.58	1	6.58	0.58	0.4686
TRANSECTO	2921.98	2	1460.99	128.40	<0.0001
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	91.03	8	11.38		
Total	3019.59	11			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=4.92292

Error: 13.0036 gl: 7

EPOCA	Medias	n
Mayo	35.99	6 A
Diciemb	37.47	6 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=7.50960

Error: 13.0036 gl: 7

TRANSECTO	Medias	n	
T3	25.47	4	A
T2	25.93	4	A
T1	58.80	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=5.07003**

Error: 13.0036 gl: 7

SITIO	Medias	n	
Aguirre	25.47	4	A
MarNegro	42.36	8	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Análisis de la varianza N/P**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N/P	12	0.98	0.97	13.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	3	0.01	126.63	<0.0001
EPOCA	1.3E-04	1	1.3E-04	2.65	0.1421
TRANSECTO	0.02	2	0.01	188.62	<0.0001
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	4.0E-04	8	4.9E-05		
Total	0.02	11			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.01026

Error: 0.0001 gl: 7

EPOCA	Medias	n	
Diciembre	0.05	6	A
Mayo	0.06	6	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.01565**

Error: 0.0001 gl: 7

TRANSECTO	Medias	n	
T1	0.02	4	A
T2	0.03	4	A
T3	0.11	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)**Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.01057**

Error: 0.0001 gl: 7

SITIO	Medias	n	
MarNegro	0.03	8	A
Aguirre	0.11	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

5. Resultados Análisis de Varianza de densidad de *A. germinans* en los transectos T1, T2 y T3 al inicio y final del muestreo.

Análisis de la varianza Densidad de *A. germinans*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Inicial	15	0.16	0.02	106.83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	44.80	2	22.40	1.11	0.3604
TRANSECTO	44.80	2	22.40	1.11	0.3604
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	241.60	12	20.13		
Total	286.40	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=7.57111

Error: 20.1333 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T1	2.60	5	A
T2	3.40	5	A
T3	6.60	5	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=5.20053

Error: 20.1333 gl: 12

SITIO	Medias	n	
MarNegro	3.00	10	A
Aguirre	6.60	5	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Final	15	0.49	0.40	77.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	121.60	2	60.80	5.75	0.0177
TRANSECTO	121.60	2	60.80	5.75	0.0177
SITIO	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	126.80	12	10.57		
Total	248.40	14			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=5.48493

Error: 10.5667 gl: 12

TRANSECTO	Medias	n	
T1	1.80	5	A
T2	2.60	5	A
T3	8.20	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=3.76755

Error: 10.5667 gl: 12

SITIO	Medias	n	
MarNegro	2.20	10	A
Aguirre	8.20	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

6. Resultados Análisis de Varianza de crecimiento de plántulas de *A. germinans* en diferentes salinidades de cultivo, diferentes lugares y diferentes tratamientos de radiación solar. Los números que acompañan el nombre del sitio de transplante indican el tratamiento de exposición solar aplicado, (1) para sitios con sol en la mañana, (2) expuestos al sol durante todo el día y (3) para sitios recibiendo sol en la tarde.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CRECIMIENTO	50	0.04	0.00	1898.83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	191.50	2	95.75	0.91	0.4079
SALINIDAD/CULTIVO	191.50	2	95.75	0.91	0.4079
Error	4923.21	47	104.75		
Total	5114.71	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=8.81807

Error: 104.7492 gl: 47

Sal.Cultivo	Medias	n	
65.00	-2.21	11	A
0.00	-0.56	24	A
35.00	2.48	15	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CRECIMIENTO	50	0.20	0.19	1709.20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1040.87	1	1040.87	12.26	0.0010
Lugar	1040.87	1	1040.87	12.26	0.0010
Error	4073.85	48	84.87		
Total	5114.71	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=5.24380

Error: 84.8718 gl: 48

Lugar	Medias	n	
Aguirre	-4.02	25	A
MarNegro	5.10	25	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CRECIMIENTO	50	0.34	0.26	1630.37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1716.86	5	343.37	4.45	0.0023
Tratamiento	1716.86	5	343.37	4.45	0.0023
Error	3397.85	44	77.22		
Total	5114.71	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=13.07281

Error: 77.2239 gl: 44

SITIO	Medias	n		
Agui3	-10.15	9	A	
Agui1	-0.22	10	A	B
Agui2	0.63	6	A	B
TE3	3.44	10		B
TE2	5.10	5		B
TE1	6.61	10		B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

7. Resultados Análisis de Varianza de crecimiento de las plántulas Vs valores mínimos, máximos y promedios de salinidad e inundación entre tratamientos en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CRECIMIENTO	50	0.34	0.26	1630.37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1716.86	5	343.37	4.45	0.0023
Tratamiento	1716.86	5	343.37	4.45	0.0023
Error	3397.85	44	77.22		
Total	5114.71	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=13.07281

Error: 77.2239 gl: 44

Tratamiento	Medias	n		
Agui3	-10.15	9	A	
Agui1	-0.22	10	A	
Agui2	0.63	6	A	
TE3	3.44	10		B
TE2	5.10	5		B
TE1	6.61	10		B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SALIN.PROM	50	1.00	1.00	0.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3673.48	5	734.70	44802.04	<0.0001
Tratamiento	3673.48	5	734.70	44802.04	<0.0001
Error	0.72	44	0.02		
Total	3674.20	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.19050

Error: 0.0164 gl: 44

Tratamiento	Medias	n		
Aguirre1	21.38	10	A	
Aguirre2	22.63	6	A	
Aguirre3	23.41	9	A	
MarNegro3	39.22	10		B
MarNegro2	39.40	5		B
MarNegro1	39.89	10		B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SAL.MINIMA	50	1.00	1.00	0.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1224.50	5	244.90	sd	sd
Tratamiento	1224.50	5	244.90	sd	sd
Error	0.00	44	0.00		
Total	1224.50	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.00000

Error: 0.0000 gl: 44

Tratamiento	Medias	n		
Agui3	6.00	9	A	
Agui1	6.00	10	A	
Agui2	6.00	6	A	
TE3	15.00	10		B
TE2	15.00	5		B
TE1	17.00	10		B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SAL.MAXIMA	50	1.00	1.00	0.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4143.67	5	828.73	43757.12	<0.0001
Tratamiento	4143.67	5	828.73	43757.12	<0.0001
Error	0.83	44	0.02		
Total	4144.50	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.20473

Error: 0.0189 gl: 44

Tratamiento	Medias	n		
Agui3	32.00	9	A	
Agui1	32.00	10	A	
Agui2	32.00	6	A	
TE3	50.00	10		B
TE1	50.00	10		B
TE2	50.83	5		B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
INUNDACIÓN.PROM	50	0.89	0.87	5.26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	383.85	5	76.77	69.24	<0.0001
Tratamiento	383.85	5	76.77	69.24	<0.0001
Error	48.79	44	1.11		
Total	432.64	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=1.56645

Error: 1.1088 gl: 44

Tratamiento	Medias	n			
Aguil	15.94	10	A		
TE3	19.30	10		B	
Agui3	19.91	9		B	C
Agui2	20.04	6		B	C
TE1	21.46	10			C
TE2	25.68	5			D

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
INUD.MÁXIMA	50	1.00	1.00	0.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2292.22	5	458.44	13895.98	<0.0001
SITIO	2292.22	5	458.44	13895.98	<0.0001
Error	1.45	44	0.03		
Total	2293.67	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.27020

Error: 0.0330 gl: 44

Tratamiento	Medias	n			
Aguil	24.13	10	A		
Agui3	25.53	9		B	
Agui2	26.67	6			C
TE1	33.02	10			D
TE2	40.64	5			E
TE3	40.64	10			E

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
INUND.MÍNIMA	50	0.87	0.86	9.47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	463.18	5	92.64	60.18	<0.0001
Tratamiento	463.18	5	92.64	60.18	<0.0001
Error	67.72	44	1.54		
Total	530.90	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=1.84561

Error: 1.5392 gl: 44

Tratamiento	Medias	n	
TE1	10.00	10	A
TE3	10.00	10	A
Agui1	11.70	10	A
Agui3	16.05	9	B
Agui2	16.50	6	B
TE2	17.50	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

8. Resultados Análisis de Varianza del crecimiento de las plántulas sembradas con y sin protección contra la inundación (en tubos de PVC y sin tubos) en la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CRECIMIENTO	50	0.02	3.0E-03	1892.68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	119.28	1	119.28	1.15	0.2897
Protec.Inund.	119.28	1	119.28	1.15	0.2897
Error	4995.44	48	104.07		
Total	5114.71	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=6.62437

Error: 104.0716 gl: 48

Columna5	Medias	n	
1.00	-0.17	39	A
2.00	3.07	11	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p < 0.05$)

9. Resultados Análisis de Varianza entre frecuencia de larvas entre sitios y tratamientos de exposición solar: 1 = sol en la mañana, 2 = exposición solar permanente y 3 = sol en tarde.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Frec.Larvas	50	0.09	0.07	47.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.22	1	7.22	4.75	0.0342
Lugar	7.22	1	7.22	4.75	0.0342
Error	72.96	48	1.52		
Total	80.18	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.70176

Error: 1.5200 gl: 48

Lugar	Medias	n	
MarNegro	2.20	25	A
Aguirre	2.96	25	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Frec.Larvas	50	0.16	0.13	46.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.15	2	6.57	4.61	0.0149
Columnal	13.15	2	6.57	4.61	0.0149
Error	67.03	47	1.43		
Total	80.18	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=1.01971

Error: 1.4262 gl: 47

Columnal	Medias	n	
Tratamiento1	2.30	11	A
Tratamiento2	2.32	19	A
Tratamiento3	3.55	20	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

10. Resultados Análisis de Varianza de sobrevivencia de *A. germinans* entre sitios y entre tratamientos de exposición solar:1 = sol en la mañana, 2 = exposición solar permanente y 3 = sol en tarde.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sobrev.6meses	50	0.37	0.36	95.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.50	1	4.50	28.13	<0.0001
Lugar	4.50	1	4.50	28.13	<0.0001
Error	7.68	48	0.16		
Total	12.18	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.22768

Error: 0.1600 gl: 48

Lugar	Medias	n	
Aguirre	0.12	25	A
MarNegro	0.72	25	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sobrev.6meses	50	0.47	0.41	91.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.68	5	1.14	7.69	<0.0001
Tratamiento	5.68	5	1.14	7.69	<0.0001
Error	6.50	44	0.15		
Total	12.18	49			

Test:Tukey Alfa:=0.05 DMS:=0.57177

Error: 0.1477 gl: 44

Tratamiento	Medias	n			
Aguirre 1	0.00	10	A		
Aguirre 3	0.10	10	A	B	
Aguirre 2	0.40	5	A	B	
TE 1	0.60	10		B	C
TE 3	0.67	9		B	C
TE 2	1.00	6			C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

B. Análisis no Paramétrico.

Los análisis no paramétricos fueron realizados para las mismas comparaciones que los análisis de varianza. A continuación aparecen los resultados que señalan diferencias significativas.

1. Resultados de comparación de medianas entre retención de semillas Vs influencia mareal en transectos de la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos

Multisample Median Test					
Data variable: semillas					
Subsample selected by: infl.mareal					
infl.mareal	Cases	> Median	<= Median		
1	24	2	22		
2	24	5	19		
Total	48	7	41		
Median =		3			
Chi-Square Statistic =		1.5052			
Degrees of Freedom =		1			
Right-Tail Probability =		0.2199			
Chi-square statistic is not reliable. Use Two-sample Median Test.					
Multiple Comparisons (Tukey-HSD)					
Method: 95% Tukey-HSD interval.					
** denotes significantly different pairs. Vertical bars show homogeneous subsets.					
A pairwise test result is significant if its q stat value is greater than the table q.					
Group	Cases	Mean	1	2	

1	24	2							
2	24	5							
Comparison	Difference	Standard Error	q Stat	Table q	Significance	Lower 95%	Upper 95%	Result	
2 - 1	3	2.4754	1.2119	2.7718	0.3915	-3.8614	9.8614		

Homogeneous Subsets:
Group 1: 1 2

2. Resultados de comparación de medianas entre el crecimiento de las plántulas cultivadas en diferentes salinidades.

<i>Multisample Median Test</i>				
Data variable: Crecimiento				
Subsample selected by: Sal.Cult				
Sal.Cult	Cases	> Median	<= Median	
0	15	7	8	
35	24	13	11	
65	11	5	6	
Total	50	25	25	
	Median =	2.785		
	Chi-Square Statistic =	0.3242		
	Degrees of Freedom =	2		
	Right-Tail Probability =	0.8503		
<i>Multiple Comparisons (Tukey-HSD)</i>				
Method: 95% Tukey-HSD interval.				

** denotes significantly different pairs. Vertical bars show homogeneous subsets.
 A pairwise test result is significant if its q stat value is greater than the table q.

Group	Cases	Mean	65	0	35				
65	11	5			**				
0	15	7							
35	24	13	**						

Comparison	Difference	Standard Error	q Stat	Table q	Significance	Lower 95%	Upper 95%	Result
35 - 65	8	1.9599	4.0819	3.3145	0.0109	1.504	14.496	**
0 - 65	2	1.9599	1.0205	3.3145	0.7507	-4.496	8.496	
35 - 0	6	1.9599	3.0614	3.3145	0.0773	-0.496	12.496	

Homogeneous Subsets:
 Group 1: 65 0
 Group 2: 0 35

3. Resultados de la comparación de medianas entre salinidad promedio de sitios de transplante en Mar Negro y Aguirre. Los números 1, 2 y 3 corresponden a los tratamientos de exposición solar en Mar Negro y 11, 12 y 13 a los tratamientos en Aguirre.

Multisample Median Test				
Data variable: Sal.Prom				
Subsample selected by: Estacion				
Estacion	Cases	> Median	<= Median	
1	10	10	0	
2	6	6	0	

3	9	9	0						
11	10	0	10						
12	5	0	5						
13	10	0	10						
Total	50	25	25						

Median = 31.36

Chi-Square Statistic = 50

Degrees of Freedom = 5

Right-Tail Probability = 0

Multiple Comparisons (Tukey-HSD)

Method: 95% Tukey-HSD interval.

** denotes significantly different pairs. Vertical bars show homogeneous subsets.

A pairwise test result is significant if its q stat value is greater than the table q.

Group	Cases	Mean	11	12	13	2	3	1
11	10	0				**	**	**
12	5	0				**	**	**
13	10	0				**	**	**
2	6	6	**	**	**			
3	9	9	**	**	**			
1	10	10	**	**	**			

Comparison	Difference	Standard Error	q Stat	Table q	Significance	Lower 95%	Upper 95%	Result
1 - 11	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**
3 - 11	9	1.4028	6.4156	4.0301	0.0001	3.3465	14.6535	**
2 - 11	6	1.4028	4.2771	4.0301	0.03	0.3465	11.6535	**
13 - 11	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535	
12 - 11	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535	
1 - 12	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**

3 - 12	9	1.4028	6.4156	4.0301	0.0001	3.3465	14.6535	**		
2 - 12	6	1.4028	4.2771	4.0301	0.03	0.3465	11.6535	**		
13 - 12	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535			
1 - 13	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**		
3 - 13	9	1.4028	6.4156	4.0301	0.0001	3.3465	14.6535	**		
2 - 13	6	1.4028	4.2771	4.0301	0.03	0.3465	11.6535	**		
1 - 2	4	1.4028	2.8514	4.0301	0.3329	-1.6535	9.6535			
3 - 2	3	1.4028	2.1385	4.0301	0.6564	-2.6535	8.6535			
1 - 3	1	1.4028	0.7128	4.0301	0.996	-4.6535	6.6535			
Homogeneous Subsets:										
Group 1: 11 12 13										
Group 2: 2 3 1										

4. Resultados de comparación de medianas entre la inundación promedio entre Mar Negro y Aguirre. Los números 1, 2 y 3 corresponden a los tratamientos en Mar Negro y 11, 12 y 13 a los de Aguirre.

<i>Multisample Median Test</i>										
Data variable: Inund.Prom										
Subsample selected by: Estacion										
Estacion	Cases	> Median	<= Median							
1	10	10	0							
2	6	5	1							
3	9	0	9							
11	10	0	10							
12	5	5	0							
13	10	1	9							
Total	50	21	29							
Median = 19.9										

Chi-Square Statistic =	42.8845
Degrees of Freedom =	5
Right-Tail Probability =	0

Multiple Comparisons (Tukey-HSD)

Method: 95% Tukey-HSD interval.

** denotes significantly different pairs. Vertical bars show homogeneous subsets.

A pairwise test result is significant if its q stat value is greater than the table q.

Group	Cases	Mean	3	11	13	2	12	1
3	9	0						**
11	10	0						**
13	10	1						**
2	6	5						
12	5	5						
1	10	10	**	**	**			

Comparison	Difference	Standard Error	q Stat	Table q	Significance	Lower 95%	Upper 95%	Result
1 - 3	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**
12 - 3	5	1.4028	3.5642	4.0301	0.1181	-0.6535	10.6535	
2 - 3	5	1.4028	3.5642	4.0301	0.1181	-0.6535	10.6535	
13 - 3	1	1.4028	0.7128	4.0301	0.996	-4.6535	6.6535	
11 - 3	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535	
1 - 11	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**
12 - 11	5	1.4028	3.5642	4.0301	0.1181	-0.6535	10.6535	
2 - 11	5	1.4028	3.5642	4.0301	0.1181	-0.6535	10.6535	
13 - 11	1	1.4028	0.7128	4.0301	0.996	-4.6535	6.6535	
1 - 13	9	1.4028	6.4156	4.0301	0.0001	3.3465	14.6535	**
12 - 13	4	1.4028	2.8514	4.0301	0.3329	-1.6535	9.6535	
2 - 13	4	1.4028	2.8514	4.0301	0.3329	-1.6535	9.6535	
1 - 2	5	1.4028	3.5642	4.0301	0.1181	-0.6535	10.6535	

12 - 2	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535		
1 - 12	5	1.4028	3.5642	4.0301	0.1181	-0.6535	10.6535		
Homogeneous Subsets:									
Group 1: 3 11 13 2 12									
Group 2: 2 12 1									
Data variable: Inund.Max									
Subsample selected by: Estacion									
Estacion	Cases	> Median	<= Median						
1	10	10	0	Median =	29.845				
2	6	6	0						
3	9	9	0	Chi-Square	50				
11	10	0	10	Degrees of	5				
12	5	0	5	Freedom =					
13	10	0	10	Right-Tail	0				
Total	50	25	25	Probability =					
Multiple Comparisons (Tukey-HSD)									
Method: 95% Tukey-HSD interval.									
** denotes significantly different pairs. Vertical bars show homogeneous subsets.									
A pairwise test result is significant if its q stat value is greater than the table q.									
Group	Cases	Mean	11	12	13	2	3	1	
11	10	0				**	**	**	
12	5	0				**	**	**	
13	10	0				**	**	**	
2	6	6	**	**	**				

3	9	9	**	**	**				
1	10	10	**	**	**				
Comparison	Difference	Standard Error	q Stat	Table q	Significance	Lower 95%	Upper 95%	Result	
1 - 11	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**	
3 - 11	9	1.4028	6.4156	4.0301	0.0001	3.3465	14.6535	**	
2 - 11	6	1.4028	4.2771	4.0301	0.03	0.3465	11.6535	**	
13 - 11	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535		
12 - 11	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535		
1 - 12	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**	
3 - 12	9	1.4028	6.4156	4.0301	0.0001	3.3465	14.6535	**	
2 - 12	6	1.4028	4.2771	4.0301	0.03	0.3465	11.6535	**	
13 - 12	0	1.4028	0	4.0301	1	-5.6535	5.6535		
1 - 13	10	1.4028	7.1285	4.0301	0	4.3465	15.6535	**	
3 - 13	9	1.4028	6.4156	4.0301	0.0001	3.3465	14.6535	**	
2 - 13	6	1.4028	4.2771	4.0301	0.03	0.3465	11.6535	**	
1 - 2	4	1.4028	2.8514	4.0301	0.3329	-1.6535	9.6535		
3 - 2	3	1.4028	2.1385	4.0301	0.6564	-2.6535	8.6535		
1 - 3	1	1.4028	0.7128	4.0301	0.996	-4.6535	6.6535		
Homogeneous Subsets:									
Group 1: 11 12 13									
Group 2: 2 3 1									