

## Sobrevivencia y crecimiento de mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en plantaciones reforestadas y regeneración natural\*

### Survival and growth of black mangrove (*Avicennia germinans* L.) in reforested plantations and natural regeneration

Lauro González-Hernández<sup>1</sup>, Ángel Sol-Sánchez<sup>1§</sup>, Arturo Pérez-Vázquez<sup>2</sup> y José J. Obrador-Olan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, km 3.5. Carretera, Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco. C. P. 86500. (lauro.gonzalez@colpos.mx; obradoro@colpos.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados- Campus Veracruz, km 26.5 carretera federal Veracruz-Xalapa. Predio Tepetates. (parturo@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: sol@colpos.mx.

#### Resumen

El objetivo de esta investigación fue cuantificar la sobrevivencia, y crecimiento de mangle negro (*Avicennia germinans* L.), en plantaciones reforestadas en una superficie de 50 ha, el estudio se llevó cabo de 2013 a 2014, en el ecosistema de manglar ubicado en el Ejido “Las Coloradas”, Cárdenas, Tabasco. Se delimitó tres ambientes (1: ona inundada Zi; 2: zona de marea baja Zmb y 3: zona de libre fluidez del agua Zlfa). Para el monitoreo se ubicaron tres sitios al azar de 500 m<sup>2</sup> por ambiente. Las variables evaluadas fueron sobrevivencia, altura de planta (h), el área de copa (sc), diámetro de cuello (dc), número y altura de neumatóforos (nn, an). La evaluación se encontraron diferencias estadísticas significativas al porcentaje de sobrevivencia entre ambientes, la cual presenta dos grupos (A y B) con un  $\alpha=0.05$ . El grupo A corresponde la Zmb con un 67.7% de sobrevivencia, y el grupo B a la Zi y Zlfa, con 0% y 5.5% de sobrevivencia, respectivamente. El crecimiento no se registró diferencias estadísticas significativas. La Zmb de plantación reforestada tuvo un crecimiento de (h: 27 cm, sc1: 16.3 cm, sc2: 15.9 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.8 cm y nn: 13). La Zlfa se tuvo un crecimiento de (h: 7.2 cm, sc1: 13.3 cm, sc2: 8.7 cm, dc: 0.2 cm, an: 4.3 y nn: 5.1). La regeneración natural en la Zmb mostró un crecimiento de (h: 30.1 cm, sc1: 21.8 cm, sc2: 21.3 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.2 cm y nn: 5.3

#### Abstract

The objective of this research was to quantify the survival and growth of black mangrove (*Avicennia germinans* L.) in reforested plantations in an area of 50 ha; the study was carried out from 2013 to 2014, in the mangrove ecosystem located in the Ejido “Las Coloradas” Cárdenas, Tabasco. Three environments were delimited (1: flooded zone Zi; low tide zone Zmb and 3: free-flowing zone Zlfa). For monitoring three sites of 500 m<sup>2</sup> per environment were randomly located. The evaluated variables were survival, plant height (h), crown area (sc), stem diameter (dc), number and height of pneumatophores (nn, an). The evaluation found statistically significant differences in survival rate between environments, which has two groups (A and B) with  $\alpha=0.05$ . The group A is Zmb with 67.7% survival, and group B to Zi and Zlfa with 0% and 5.5% survival, respectively. Growth recorded no significant statistical differences. Zmb from reforested plantation grew to (h: 27 cm, sc1: 16.3 cm, sc2: 15.9 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.8 cm and nn: 13). Zlfa grew to (h: 7.2 cm, sc1: 13.3 cm, sc2: 8.7 cm, dc: 0.2 cm, an: 4.3 and nn: 5.1). Natural regeneration in Zmb showed a growth of (h: 30.1 cm, sc1: 21.8 cm, sc2: 21.3 cm, dc: 0.5 cm, an: 2.2 cm and nn: 5.3 cm). Zmb promotes survival and growth of black mangrove in reforested plantations and natural regeneration of populations.

\* Recibido: diciembre de 2015  
Aceptado: marzo de 2016

cm). La Zmb favorece la sobrevivencia y crecimiento del mangle negro en plantaciones reforestadas y poblaciones de regeneración natural.

**Palabras clave:** ambiente, marea, mortalidad, neumatóforos, radiación solar.

## Introducción

Los manglares son comunidades vegetales presentes a lo largo de las costas tropicales y subtropicales del planeta, y se ubican en la zona de convergencia entre el mar y la tierra. Estos ecosistemas conformados por plantas y animales tienen una serie de adaptaciones fisiológicas que permiten desarrollarse en terrenos frecuentemente inundados con aguas hipersalinas (Carrillo *et al.*, 2008). A nivel mundial existe un total de 73 especies de mangle que son en su mayoría árboles y arbustos (Chan *et al.*, 2012). Este tipo de ecosistema ocupa a nivel mundial 152 361 km<sup>2</sup>, de superficie (Spalding *et al.*, 2010).

En México predominan cuatro especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Ga-erth.), mangle negro (*Avicennia germinans* L.) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* L.), en una superficie de 582 415 ha (Rodríguez *et al.*, 2013) y en el estado de Tabasco existe una superficie 41 498.5 ha (Domínguez *et al.*, 2011). Las cuatro especies mencionadas mantienen el equilibrio del ecosistema de manglar y brindan servicios ambientales de importancia ecológica y social (CONABIO, 2008).

Los servicios ambientales que brinda el manglar son: captura y almacena CO<sub>2</sub> y libera O<sub>2</sub> como resultado de procesos de fotosíntesis, respiración y degradación de materia seca; ciertamente los manglares liberan menos carbono que otros ecosistemas forestales (Sanjurjo y Welsh, 2005). El ecosistema manglar almacenan entre 12.8 y 39.9 kg cm<sup>2</sup>, durante las estaciones de secas y nortes (Moreno *et al.*, 2010). Además sirve de protección a las zonas costeras ante fenómenos naturales (huracán, tormentas, inundaciones), y contribuye a la conservación de fauna y flora y a la producción de agua, alimento, medicina, recursos genéticos, y actividades productivas (Schuyt y Brander, 2004; Barba *et al.*, 2010; Wood *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013).

**Keywords:** environment, mortality, pneumatophores, sunlight, tide.

## Introduction

Mangroves are plant communities present throughout the tropical and subtropical coasts of the planet, and are located in the convergence zone between sea and land. These ecosystems are made up of plant and animals, have a number of physiological adaptations that allows them to develop in frequently flooded land with hypersaline waters (Carrillo *et al.*, 2008). Globally there are a total of 73 mangrove species, mostly trees and shrubs (Chan *et al.*, 2012). This type of ecosystem globally occupies 152 361 km<sup>2</sup> (Spalding *et al.*, 2010).

In Mexico four mangrove species predominate: red mangrove (*Rhizophora mangle* L.), white mangrove (*Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Ga-erth), black mangrove (*Avicennia germinans* L.) and button mangrove (*Conocarpus erectus* L.) in an area of 582 415 ha (Rodríguez *et al.*, 2013) and in the state of Tabasco there is a surface of 41 498.5 ha (Domínguez *et al.*, 2011). The four species mentioned maintain the balance of mangrove ecosystem and provide environmental services of ecological and social importance (CONABIO, 2008).

The environmental services provided by mangroves are: capture and storage CO<sub>2</sub> and releases O<sub>2</sub> as a result of photosynthesis, respiration and degradation of dry matter; certainly mangroves release less carbon than other forest ecosystems (Sanjurjo and Welsh, 2005). Mangrove ecosystem stores between 12.8 and 39.9 kg cm<sup>2</sup> during dry seasons and norths (Moreno *et al.*, 2010). It also serves as protection of coastal areas against natural phenomena (hurricanes, storms, floods), and contributes to the conservation of wildlife and the production of water, food, medicine, genetic resources, and productive activities (Schuyt and Brander, 2004; Beard *et al.*, 2010; Wood *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013).

However, mangrove ecosystem is one of the most subject to deterioration due to irrational exploitation of its resources, beyond their resilience (Basáñez *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2010). Besides polluting waste from

Sin embargo, el ecosistema manglar es uno de los más sujetos a deterioro, por el aprovechamiento irracional de sus recursos, más allá de su capacidad de recuperación (Basáñez *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2010). Además los residuos contaminantes de las industrias afectan la alimentación y reproducción de la vida acuática, tanto a plantas, insectos y peces (Reeves, 2005; Olguín *et al.*, 2007; Hernández-Menchor, 2013). Aunado a lo anterior, también están las afectaciones de origen natural poco extendidas y puntuales (Rodríguez *et al.*, 2013). Entre estas el deterioro del manglar por la acción abrasiva del mar sobre las costas y aumento de su nivel medio de las mareas; desaparición de lagunas costeras por colmatación o cierre natural de canales; acumulación de arenas debido a cambios en la dinámica costera y migración de los sedimentos, ocasionando recubrimiento de las raíces de los mangles y causando su muerte; efecto destructivo por eventos meteorológicos extremos (ciclones y huracanes) y variaciones del régimen hídrico (disminución de las precipitaciones).

Debido a estos impactos, el ecosistema de manglar en el año 1980, México contaba con 1.12 millones de ha, y para 2005, tal superficie había descendido a 820 000 ha; es decir, una pérdida anual de 12 000 ha (4%) durante 25 años (FAO, 2007). Por ello, muchas instituciones se han dado a la tarea de generar información mediante investigación científica proporcionando elementos para disminuir los efectos e impactos negativos hacia estos ecosistemas naturales. Entre las estrategias de conservación están el establecimiento de áreas naturales protegidas (ANP), parques y museos entre otros, con la finalidad de conservar, cuidar, mantener y estudiar a las comunidades vegetales y animales a través de un plan de manejo que favorece su conservación (Carmona *et al.*, 2004). Actualmente existen diversos programas: como la investigación, educación ambiental y conservación para el manejo sustentable de los manglares (Carmona *et al.*, 2004; Linares *et al.*, 2004).

Por tanto, mantener la estructura y función del ecosistema de manglar involucra los elementos bióticos y abióticos (temperatura, precipitación, hidrología, suelo) y la contrición de cada uno de los elementos, permite una mayor productividad del ecosistema (Rodríguez *et al.*, 2013). La hidrología es parte fundamental del ecosistema como elemento abiótico, que ocasiona cambios en la estructura y función, mostrando así, que cada especie se distribuye en función de la hidrología hipersalina (marea) y a la capacidad de adaptación de la especie (Carrillo *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013). Por ejemplo, el mangle rojo (*R. mangle*) crece en

industries affect feeding and reproduction of aquatic life, such as plants, insects and fish (Reeves, 2005; Olguín *et al.*, 2007; Hernández-Menchor, 2013). Coupled to this, are also the effects from natural origin widespread and specific (Rodríguez *et al.*, 2013). Among these mangrove degradation by the abrasive action of the sea on costs and rise of their tidal average level; disappearance of coastal lagoons by silting or natural closure of channels; accumulation of sand due to changes in coastal dynamics and migration of sediments, causing coating of mangrove roots and subsequently death; destructive effect by extreme weather events (cyclones and hurricanes) and variations in water regime (decreased rainfall).

Because of these impacts, mangrove ecosystem in 1980, Mexico counted with 1.12 million hectares, and by 2005, this area decreased to 820 000 ha; i.e. an annual loss of 12 000 ha (4%) for 25 years (FAO, 2007). Therefore, many institutions have been given the task of generating information through scientific research providing elements to reduce the effects and negative impacts towards these natural ecosystems. Among conservation strategies are the establishment of protected natural areas (PNA), parks and museums among others, in order to preserve, care for, maintain and study plant and animal communities through a management plan that favors its preservation (Carmona *et al.*, 2004). Currently there are various programs: such as research, environmental education and conservation for sustainable management of mangroves (Carmona *et al.*, 2004; Linares *et al.*, 2004).

Therefore, maintaining the structure and function of mangrove ecosystem involves biotic and abiotic elements (temperature, precipitation, hydrology, soil) and contrition of each of the elements, allowing greater ecosystem productivity (Rodríguez *et al.*, 2013). Hydrology is a fundamental part of the ecosystem as abiotic element, which causes changes in the structure and function, thus showing that each species is distributed according to hypersaline hydrology (tide) and adaptability of the species (Carrillo *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013). For example, red mangrove (*R. mangle*) grows in flooded areas on the banks of lagoons where water flow is constant (Ortiz and Méndez, 2000). For black mangrove (*A. germinans*), grows best within the mangrove away from the edges of estuaries or channels, at slightly higher elevations where the flow tide is less apparent with a short flooding time, due to its physiological state of adaptation in the environment. Although it is the species that has higher tolerance to

zonas inundadas en las orillas de lagunas donde el flujo del agua es constante (Ortiz y Méndez, 2000). Para el caso del mangle negro (*A. germinans*), crece mejor en el interior del manglar, lejos de los bordes del estero o los canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos aparente con un corto tiempo de inundación, debido su estado fisiológico de adaptación en el medio. Aunque es la especie que tiene mayor tolerancia a condiciones de alta salinidad, pues se ubica en concentraciones mayores de 40 por mil, hasta 100 por mil, debido a las glándulas secretoras de sal en sus hojas (Cordero y Boshier, 2003). Esto evidencia que el nivel de agua de mar en zonas de crecimiento de mangle blanco (*L. racemosa*) genera una sustitución por mangle negro (*A. germinans*) debido a salinidades altas (Galmiche y Solana, 2011).

Respecto a los grupos de suelos como, Histosoles Solonchaks, Gleysoles y Technosoles son los suelos que se pueden encontrar en los manglares, predominando los primeros dos (Moreno *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2011). Estos suelos de manglar se caracterizan por tener un alto contenido de agua, sal y sulfuro de hidrógeno y un bajo contenido de oxígeno y elevada proporción de materia orgánica (Lewis, 2005). La salinidad en los sedimentos (salinidad intersticial) de los manglares depende del tipo de hidrología que prevalezca en ellos. Las variaciones de la profundidad, producto de las pequeñas escalas de pendientes del terreno manglar ejerce una presión física que actúa como restrictivo para la expansión del manglar (Ortiz y Méndez, 2000); asimismo, las estaciones más lluviosas estabilizan, los niveles de salinidad en rangos entre los 49 -55% (Rodríguez *et al.*, 2013).

El pH del agua en el ecosistema manglar es variable debido al periodo de inundación. El pH del agua intersticial mayor será en periodos largos de inundación (Yañez *et al.*, 2001), el cual se puede encontrar de 4.7 a 5, calificado como un suelo ácido (García, 2005). De acuerdo a Kohen *et al.* (1995) el crecimiento de las plantas es dependiente de la variación genética y de las condiciones ambientales (relación planta-suelo-atmósfera). Por tanto, la cantidad de radiación disponible influye en los procesos fisiológicos, morfogenéticos y reproductivos de plantas y afecta de forma significativa al funcionamiento general del ecosistema (Kohen *et al.*, 1995). También desencadena diversos procesos evolutivos en los que entran en juego desde la adaptación a la radiación media disponible, hasta la coevolución entre animales y plantas o parásitos y huéspedes, pasando por la flexibilidad o plasticidad para acomodarse a los cambios espaciales y temporales de la radiación (Valladares *et al.*, 2004; Alcaráz, 2012).

high salinity conditions, as it is located in concentrations greater than 40 per thousand to 100 per thousand, due to the secretory glands of salt in their leaves (Cordero and Boshier, 2003). This shows that seawater level in growth areas of white mangrove (*L. racemosa*) generate a replacement by black mangrove (*A. germinans*) due to high salinities (Galmiche and Solana, 2011).

Regarding to soil groups as Histosols Solonchaks, Gleysols and Technosols are soils that can be found in mangroves, predominating the first two (Moreno *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2011). These mangrove soils are characterized for having a high water, salt and hydrogen sulfide and a low oxygen content and high proportion of organic matter (Lewis, 2005). Salinity in the sediment (interstitial salinity) of mangroves depends on the type of hydrology prevailing in them. The variations of depth, product of small scales slopes in mangrove land exerts physical pressure acting as restrictive for the expansion of mangrove (Ortiz and Mendez, 2000); also, the rainiest seasons stabilize salinity levels in the range between 49 -55% (Rodríguez *et al.*, 2013).

The pH of the water in the mangrove ecosystem is variable due to the flooding period. The pH of interstitial water will be greater over long periods of flooding (Yañez *et al.*, 2001), which can be from 4.7 to 5, classified as an acid soil (García, 2005). According to Kohen *et al.* (1995) plant growth is dependent of genetic variation and environmental conditions (soil-plant-atmosphere relationship). Therefore, the amount of radiation available influences physiological and morphogenetic and reproductive processes of the plants and significantly affects the overall functioning of the ecosystem (Kohen *et al.*, 1995). Also it triggers diverse evolutionary processes that come into play since adaptation to average radiation available to coevolution between animals and plants or parasites and hosts, passing through flexibility or plasticity to adapt to spatial and temporal changes of radiation (Valladares *et al.*, 2004; Alcaráz, 2012).

Therefore, the need to consider biotic elements in the survival and growth of the species of interest, particularly when reforestation with black mangrove is performed; therefore, this study aimed to quantify the survival and growth of black mangrove (*A. germinans*) in reforested plantations and natural regeneration in the ejido "Las Coloradas" Cardenas, Tabasco. Area greatly affected by the caterpillar *Anacamptodes* spp., in 2010 (Sun *et al.*, 2012).

Por tanto, la necesidad de considerar elementos bióticos en la sobrevivencia y crecimiento de la especie de interés, particularmente cuando se realiza la reforestación con mangle negro. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo de cuantificar la sobrevivencia y crecimiento de mangle negro (*A. germinans*), en plantaciones reforestadas y de regeneración natural en el ejido "Las Coloradas", Cárdenas, Tabasco. Área fuertemente afectada por la oruga *Anacamptodes* spp., en el año 2010 (Sol *et al.*, 2012).

## Materiales y métodos

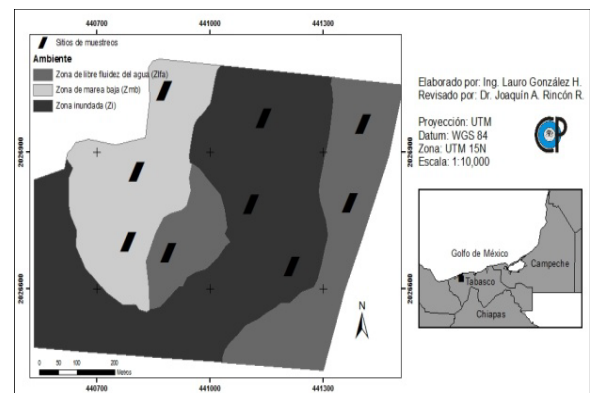
Este trabajo se realizó de 2013 a 2014, en el ecosistema de manglar ubicado en el Ejido "Las Coloradas", Cárdenas, Tabasco, situado entre las coordenadas en UTM 2 026 900 y 441 000. Este ecosistema de manglar se ubica en la planicie baja de inundación lagunar (Ortiz *et al.*, 2005), en suelos Solonchaks, Gleysols, Histosols, Technosols (Palma *et al.*, 2006, Domínguez *et al.*, 2011). El tipo de clima Am (w) está distribuido en la gran planicie de la llanura del Golfo (SEDESPA, 2006). La precipitación varía de 1500 mm anuales en el extremo oeste hasta los 2000 mm en la Boca del Tonalá (Palma *et al.*, 2006). La unidad experimental correspondió a una superficie de 50 hectáreas, área que fue reforestada con la especie *A. germinans* (Sol *et al.*, 2012). En esta superficie se delimitó tres ambientes, siendo: zona inundada (Zi), zona marea baja (Zmb) y Zona de libre fluidez del agua (Zlfa) (Figura 1). La delimitación de estos tres ambientes se realizó usando el software Arc GIS 9 (ArcMap versión 9.3), por el método de interpolación de Spline (Álvarez *et al.*, 2011), y con base en los datos de profundidad del agua de los sitios de muestreo.

En cada ambiente se establecieron tres sitios permanentes de monitoreo, dando un total de nueve sitios. Estos sitios se establecieron a una distancia de 200 metros aproximadamente uno del otro, bajo un diseño completamente al azar (Herrera y García, 2010). Cada sitio tuvo una superficie de 500 m<sup>2</sup> (50 m largo x 10 m ancho) de acuerdo a Melo y Vargas (2003). En estos sitios se tomaron los datos de plantas reforestadas (Prf) y regeneración natural (Prn).

En cada sitio de muestreo se establecieron tres parcelas permanentes de monitoreo para registrar datos de Prn, con una superficie de 4 m<sup>2</sup> (2 m x 2 m), considerando todas las plantas presentes en el cuadrante (Figura 2).

## Materials and methods

This work was conducted from 2013 to 2014, in the mangrove ecosystem located in the Ejido "Las Coloradas" Cardenas, Tabasco, located between UTM coordinates 2 026 900 and 441 000. This mangrove ecosystem is located in a lower plain of flood lagoon (Ortiz *et al.*, 2005), in Solonchaks, Gleysols, Histosols, Technosol soils (Palma *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2011). The type of weather Am (w) is distributed in the great plain of the Gulf plain (SEDESPA, 2006). The rainfall varies from 1 500 mm annually in the far west to 2 000 mm in the estuary from Tonalá (Palma *et al.*, 2006). The experimental unit corresponded to an area of 50 hectares, an area that was reforested with the species *A. germinans* (Sun *et al.*, 2012). This area was delimited in three environments: flooded area (Zi), low tide zone (Zmb) and free flow water zone (Zlfa) (Figure 1). The delimitation of these three environments was performed using the software Arc GIS 9 (ArcMap version 9.3), through the Spline interpolation method (Álvarez *et al.*, 2011), and based on data of water depth of sampling sites.

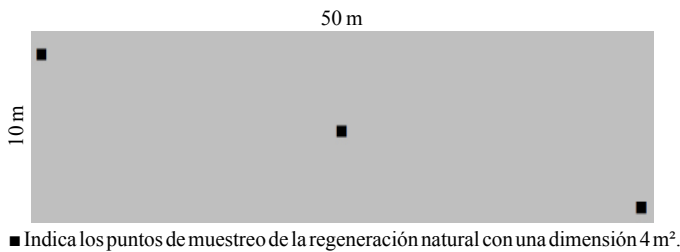


**Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.**

**Figure 1. Geographical location of the study area.**

In each environment three permanent monitoring sites were established, giving a total of nine sites. These sites were established at a distance of approximately 200 meters of each other, under a completely randomized design (Herrera and García, 2010). Each site has an area of 500 m<sup>2</sup> (50 m long x 10 m wide) according to Melo and Vargas (2003). From this sites collected reforested plants (Prf) and natural regeneration (Prn) data.

In each sampling site, three permanent monitoring plots were established to record Prn data, with an area of 4 m<sup>2</sup> (2 m x 2 m), considering all the plants within the quadrant (Figure 2).



**Figura 2. Diseño de los sitios de muestreo.**

**Figure 2. Design of the sampling sites.**

La sobrevivencia y el patrón de mortalidad se cuantificó con base al total plantado en cada sitio de muestreo. El porcentaje de mortalidad se agrupó por patrones de mortalidad, siendo: muerto en pie (mp), tronco partido (tp), caído de raíz (cr), individuos desaparecidos (de), cortado (cor) y sin clasificación (scla) (Londoño y Álvarez, 1997; Londoño y Jiménez, 1999).

Para el crecimiento de las plantas reforestadas y de regeneración natural se midió la altura (h), superficie de copa (sc1 y sc2), diámetro de cuello (dc) y altura de neumatóforos (an) con base en criterios de Barrera *et al.* (s.f). Las variables fueron tomadas en tres épocas del año: norte (2013), seca (2014), y lluvia (2014) de acuerdo a Aceves *et al.* (2008). Con los datos de las variables de crecimiento se calculó la tasa relativa de crecimiento dasométrico (Sosa y Rodríguez, 2003; Carrillo *et al.*, 2008).

Tasa relativa de crecimiento (TRC) en altura:

$$\text{TRC} = \text{altura 2} - \text{altura 1}$$

Porcentaje de incremento (PI) en altura

$$\text{PI} = ((\text{altura 2} - \text{altura 1}) / \text{altura 1}) (100)$$

Tasa relativa de crecimiento (TRC) en diámetro

$$\text{TRC} = \text{diámetro 2} - \text{diámetro 1}$$

Porcentaje de incremento (PI) en diámetro

$$\text{PI} = ((\text{diámetro 2} - \text{diámetro 1}) / \text{diámetro 1}) (100)$$

Asimismo, se contabilizó el número total de neumatóforos por planta, tomando como referencia a la planta y la superficie de copa más alejada, se formó una circunferencia alrededor que integre la totalidad de los neumatóforos (Figura 3) (Vilmarie, 2008).

Para medir la radiación se tomaron lecturas de radiación solar en 15 puntos en cada sitio de muestreo en los tres ambientes (Valladares, 2004). Esta se realizó usando un equipo LI-COR Terrestrial Radiation con un sensor Quantum Q 40829, a las 12:00 y 13:00 h, momento de mayor radiación solar. Estos

Survival and mortality pattern was quantified based on the total planted in each sampling site. The mortality rate was grouped by mortality patterns, being: dead stand (mp), trunk broken (tp), fallen from root (cr), disappeared individuals (de), cut (cor) and unclassified (scla) (Londoño and Álvarez, 1997; Londoño and Jiménez, 1999).

For reforested plant growth and natural regeneration, height (h), crown area (sc1 and sc2), stem diameter (dc) and pneumatophores height (an) based on criteria from Barrera *et al.* (W. D) were measured. Variables were taken in three seasons: North (2013), dry (2014) and Rain (2014) according to Aceves *et al.* (2008). With data from growth variables, the dasometric relative growth rate was calculated (Carrillo *et al.*, 2008; Sosa and Rodríguez, 2003).

Relative growth rate (TRC) in height:

$$\text{TRC} = \text{height 2} - \text{height 1}$$

Increased percentage (PI) in height

$$\text{PI} = ((\text{height 2} - \text{height 1}) / \text{height 1}) (100)$$

Relative growth rate (TRC) in diameter

$$\text{TRC} = \text{diameter 2} - \text{diameter 1}$$

Increased percentage (PI) in diameter

$$\text{PI} = ((\text{diameter 2} - \text{diameter 1}) / \text{diameter 1}) (100)$$

Also, the total number of pneumatophores per plant was counted taking as reference the plant and the surface of the farthest crown, forming a circumference around that integrates all the pneumatophores (Figure 3) (Vilmarie, 2008).



**Figura 3. Diseño para la toma de datos de los neumatóforos.**  
**Figure 3. Design for data collection of pneumatophores.**

datos se contrastaron con el crecimiento de las plantaciones reforestadas y de regeneración natural. Se tomaron muestras del suelo en la época seca acorde a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000; Buduba, 2004) en dos profundidades ( $0 \geq 30$  cm y  $30 \geq 60$  cm) dando un total de seis muestras compuestas. A estas muestras se le analizaron sus propiedades químicas (pH, CE, MO, Nt, P-Olsen, K, Ca, Mg, Na, CIC, Fe, Cu, Zn y Mn) y física (Textura), en el Laboratorio de Análisis Químico de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (Campus Tabasco).

En campo se registraron datos de profundidad del agua durante 2013 a 2014, se consideraron datos históricos de precipitación con base a la estación meteorológica de Sánchez Magallanes, cercana al área de estudio. El diseño experimental empleado fue un factorial de  $2 \times 3$ , haciendo un total de seis tratamientos (Herrera y García, 2010). Los seis tratamientos fueron la combinación de los tres ambientes: zona inundada (Zi); zona de marea baja (zmb) y zona del libre (Zlfa), y el otro factor fue el tipo de plantación con dos niveles: Plantaciones reforestadas (Prf) y Plantas de regeneración natural (Prn).

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS), versión 9.1. (SAS, 1995), a través del procedimiento de Modelo de Regresión Lineal (GLM). Se analizó la normalidad de los datos de sobrevivencia y crecimiento en plantaciones reforestadas y de regeneración. Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ambiente (tratamiento), se realizó las pruebas de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para clasificar el mejor ambiente (tratamiento) en cuanto sobrevivencia y crecimiento. Para los datos de regeneración natural se analizó de manera descriptiva, debido que los ambientes Zi y Zlfa no presentaron poblaciones de regeneración natural. Las variables de crecimiento se reportan en promedio y los patrones de mortalidad en porcentaje.

## Resultados

La sobrevivencia de las plantas trasplantadas (Prf) de mangle negro mostró diferencias estadísticas significativa entre tratamientos. La prueba de medias de Tukey separó dos grupos (con un  $\alpha$  de 0.05). El primer grupo corresponde al tratamiento de marea baja estacional (Zmb) con 71.6% de sobrevivencia y el grupo dos a los tratamientos Zi y

Solar radiation was measured from readings in 15 points of each sampling site in the three environments (Valladares, 2004). This was done using a LI-COR Terrestrial Radiation with a Quantum Q 40829, at 12:00 and 13:00 h, time of higher solar radiation. These data were compared with the growth of reforested plantations and natural regeneration. Soil samples were taken during the dry season according to the Official Mexican Standard (NOM-021-SEMARNAT-2000; Buduba, 2004) at two depths ( $0 \geq 30$  and  $30 \text{ cm} \geq 60$  cm) giving a total of six composite samples. The chemical and physical properties of these samples were analyzed (pH, EC, OM, Nt, P-Olsen, K, Ca, Mg, Na, CEC, Fe, Cu, Zn and Mn) and physical (texture), in the Laboratory for Chemical Analysis of Soil, Plants and Water (LASPA) from the Postgraduate College in Agricultural Sciences (Campus Tabasco).

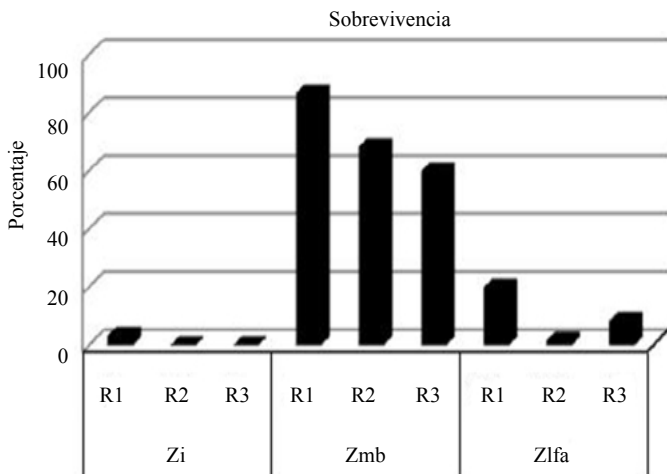
In field water depth data was recorded during 2013-2014, historical precipitation data were considered based on the weather station Sánchez Magallanes, near the study area. The experimental design was a factorial  $2 \times 3$ , making a total of six treatments (Herrera and García, 2010). The six treatments were the combination of the three environments: flooded area (Zi); low tide zone (Zmb) and free zone (Zlfa), and the other factor was the type of plantation with two levels: reforested Plantations (Prf) and natural regeneration plants (Prn).

To analyze the data the Statistical Analysis System (SAS) version 9.1 (SAS, 1995) was used, through the procedure Linear Regression Model (GLM). Normal data on survival and growth in reforested plantations and regeneration were analyzed. When statistically significant differences between environment (treatment) were found, the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ) was performed to classify the best environment (treatment) regarding survival and growth. Natural regeneration data was analyzed descriptively due to the Zi and Zlfa environments showed no populations of natural regeneration. Growth variables were reported on average and mortality patterns in percentage.

## Results

The survival of transplanted plants (Prf) from black mangrove showed significant differences between treatments. Tukey test separated two groups (with an  $\alpha$  of 0.05). The first group corresponds to the treatment of seasonal low tide (Zmb) with 71.6% of survival and

Zlfa con 1.1% y 9.9% de sobrevivencia, respectivamente. En el segundo muestreo se tuvo una disminución de los porcentajes mencionados. En el ambiente Zmb se tuvo 71.1% de sobrevivencia, en Zi y Zlfa fue de 0.5% y 6.1%, respectivamente. En el último muestreo en el ambiente Zmb se registró con 67.7% de sobrevivencia, en el Zi no se reportó sobrevivencia, y en Zlfa fue de 5.5% Figura 4. Es decir, que en total la sobrevivencia en el ambiente Zmb fue de 40 plantas por 500 m<sup>2</sup> y en Zlfa con 3 plantas sobrevivientes. Con una edad de 2 años y 3 meses desde su establecimiento.



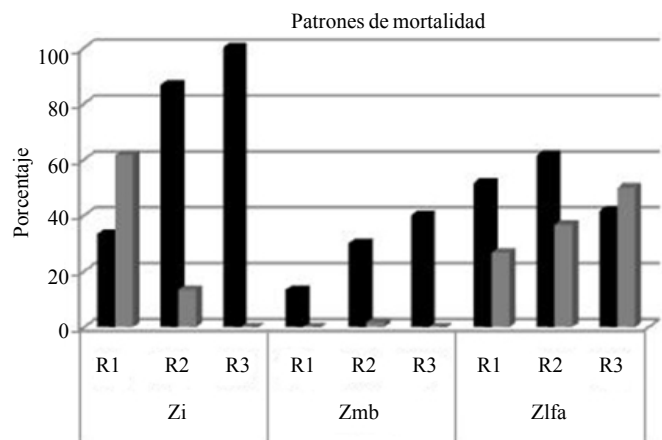
**Figura 4. Porcentaje de supervivencia en plantaciones reforestadas. Siglas: R, repetición.**  
**Figure 4. Percentage of survival in reforested plantations. Initials: R, replication.**

Respecto a los patrones de mortalidad no se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos. El mayor porcentaje de individuos desaparecidos (d) y muerto en pie (mp) en los tres ambientes fue como sigue: en Zi se registró una mortalidad de 73.3%, 28.8% en Zmb y 52.1% en Zlfa. Además en Zi se registró 26.1% de plantas muertas en pie (mp), 1.6% en Zmb y 41.6% en Zlfa (Figura 5).

En la regeneración natural se registraron de cinco a trece plantas por lote de muestreo, en su mayoría *A. germinans*. También se registró de una a dos plantas de la especie *L. racemosa* y rara vez de *R. mangle*. Durante las dos primeras épocas de evaluación no se presentó patrón de mortalidad de las especies mencionadas. Sin embargo, en la última evaluación se registraron individuos muertos en pie (mp) particularmente a la especie *L. racemosa*, en su totalidad. El crecimiento de plantaciones reforestadas no mostró diferencia estadística significativa entre ambiente. Sin embargo, el mayor crecimiento en altura se registró en la Zmb el cual fue de 16 cm, de 2013 a 2014 y creció 10.8 cm de

group two Zi and Zlfa treatments with 1.1% and 9.9% of survival, respectively. In the second sampling there was a decrease in the above percentages. The Zmb environment had 71.1% survival, in Zi and Zlfa was 0.5% and 6.1% respectively. In the last sampling in the Zmb environment recorded 67.7% survival, Zi reported no survival, and Zlfa was 5.5% Figure 4. That is, that total survival in Zmb was 40 plants per 500 m<sup>2</sup> and in Zlfa with 3 surviving plants; with an age of two years and three months since its establishment.

Regarding mortality patterns there was no significant statistical difference between treatments was found. The highest percentage of missing individuals (d) and dead stand (mp) in the three environments was as follows: Zi a mortality of 73.3%, in Zmb 28.8%, in Zlfa 52.1%. Also Zi recorded 26.1% of dead stand plants (mp), in Zmb 1.6% and in Zlfa 41.6% (Figure 5).



**Figura 5. Patrones de mortalidad en los tres tipos de ambientes en plantaciones reforestadas. Siglas: desaparecido (d), muerto en pie (mp).**  
**Figure 5. Mortality patterns in three types of environments in reforested plantations. Initials: disappeared (d), dead stand (mp).**

Natural regeneration recorded from five to thirteen plants per sampling site, mostly *A. germinans*. Also recorded from one to two plants of species *L. racemosa* and rarely of *R. mangle*. During the first two periods of evaluation there was no mortality pattern of the species mentioned. However, in the last evaluation recorded dead stands (mp) particularly the species *L. racemosa*, in its entirety. The growth of reforested plantations showed no statistically significant difference between environments. However, the greatest height growth was recorded in Zmb which was 16 cm, from 2013 to 2014 and grew 10.8 cm from April



abril a septiembre. Este menor crecimiento se debe a largos períodos de sequía de la zona, lo cual reflejo mayormente en el último periodo de medición que creció 10.8 cm. Al inicio se registró una altura total de 146.2 cm y, a los 10 meses una altura de 173.8 cm (Cuadro 1).

to September. This lower growth is due to long periods of drought in the area, which was reflected mainly in the last measuring period growing 10.8 cm. At the beginning recorded a total height of 146.2 cm and at 10 months a height of 173.8 cm (Table 1).

### Cuadro 1. Incrementos de las variables de la planta.

Table 1. Increases of plant variables.

Ambiente	Altura (h)	Superficie de copa 1 (sc1)	Superficie de copa 2 (sc2)	Diámetro de cuello (dc)	Altura de neumatóforos (an)	Núm. neumatóforos (nn)
Zmb-Prf*	146.2	60.8	58.2	1.6	9.5	9.3
Zlfa-Prf*	124.9	40.5	44.5	1.2	9	1.3
Zmb-Prn*	99.73	32.8	33.5	1.1	5.8	3.5
Zmb-Prf+	173.9	77.2	74.2	2.1	12.3	22
Zlfa-Prf+	132.2	54.3	53.2	1.5	13.4	6.4
Zmb-Prn+	129.9	54.6	54.8	1.7	8	8.8

Siglas= Zmb, zona de marea baja; Zlfa= zona de libre fluidez del agua; Prf= plantación reforestada; Prn= población de regeneración natural; \*, 2013; +, 2014.

Para el ambiente Zlfa las plantas mostraron un crecimiento en altura de 3.5 cm en los primeros cinco meses y 3.7 cm de abril a septiembre, siendo la altura inicial de 124.9 cm y al término de la evaluación con una altura de 132.2 cm. La superficie de copa en el ambiente Zmb mostro un aumento de 16.2 cm<sup>2</sup> en 10 meses. En la Zlfa el área de copa mostro un aumento de 11.2 cm<sup>2</sup> en 2013 a 2014. El diámetro del cuello de las plantas reforestadas en el ambiente Zmb se registró un crecimiento total de 0.5 cm. Para Zlfa, el crecimiento del diámetro de cuello fue de 0.2 cm.

El análisis físico y químico del suelo de 0 a 30 cm de profundidad fue el siguiente: un pH modernamente ácido (5.58 a 6.57) y conductividad eléctrica (CE) característica de un suelo fuertemente salino (12.24 a 15.98 ds m<sup>-1</sup>). El ambiente Zlfa, presentó alto contenido de materia orgánica (5.7%) al igual que los ambientes Zi y Zmb (8.6 y 15.5%). Además un alto y muy alto contenido de nitrógeno total en los tres ambientes (Nt) (0.2 a 0.4%). El contenido de fósforo (P Olsen) fueron altos en los tres ambientes (12.1 a 23.9 Mg kg<sup>-1</sup>). Las bases intercambiables de K, Ca, Mg y Na fueron altas en los tres ambientes y una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los ambientes Zlfa y Zi (34.4 a 37.4 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de suelo) y muy alta el ambiente Zmb (42.9 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de suelo). El micronutriente hierro (Fe) en Zlfa, Zi y Zmb fue de 86.9, 204.2 y 225.4, respectivamente. El elemento cobre (Cu) se presentó de 7.1, 7.7 y 4.0 El elemento Zn fue de 4.3, 7.0 y 7.1 asimismo, el elemento manganeso (Mn) presento de 34.1, 51.9 y 192.5. Ambas profundidades del suelo tuvieron una textura arcillosa (Cuadro 2).

In Zlfa the plants showed an increase in height of 3.5 cm in the first five months and 3.7 cm from april to september, being the initial height of 124.9 cm and at the end of the evaluation with a height of 132.2 cm. Crown surface in the Zmb environment showed an increase of 16.2 cm<sup>2</sup> in 10 months. In Zlfa the area showed an increase of 11.2 cm<sup>2</sup> from 2013 to 2014. The diameter of the stem in reforested plants in Zmb recorded a total growth of 0.5 cm. For Zlfa, the growth of stem diameter was 0.2 cm.

The physical and chemical analysis of soil from 0 to 30 cm depth was as follows: a pH slightly acid (5.58 to 6.57) and electrical conductivity (EC) of a highly saline soil (12.24 to 15.98 dS m<sup>-1</sup>). Zlfa showed high content of organic matter (5.7%) as well as Zi and Zmb (8.6 and 15.5%). In addition high and very high total nitrogen content in the three environments (Nt) (0.2 to 0.4%). Phosphorus (P Olsen) was high in the three environments (12.1 to 23.9 Mg kg<sup>-1</sup>). Exchangeable bases of K, Ca, Mg and Na were high in the three environments and high cation exchange capacity (CEC) in Zi and Zlfa (34.4 to 37.4 cmol (+) kg<sup>-1</sup> soil) and very high in ZMB (42.9 cmol (+) kg<sup>-1</sup> soil). The micronutrient iron (Fe) in Zlfa, Zi and ZMB was 86.9, 204.2 and 225.4, respectively. Copper (Cu) of 7.1, 7.7 and 4.0. Zn of 4.3, 7.0 and 7.1, manganese (Mn) was 34.1, 51.9 and 192.5. Both soil depths had a clay texture (Table 2).

Soil analysis at depth of 30-60 cm in the three environments showed a moderately acidic pH (5.56 to 6.75) and a highly saline electrical conductivity (EC) in Zlfa and Zi (10.8 and 10.1 dS m<sup>-1</sup>) and strongly saline for Zmb (21.26 dS m<sup>-1</sup>). It also showed an average content of organic matter in Zlfa and

**Cuadro 2. Propiedades químicas y física del suelo.**  
**Table 2. Chemical and physical properties of soil.**

Ambiente	pH (H <sub>2</sub> O)	CE rel. 1:2	MO (%)	Nt (mg kg <sup>-1</sup> )	P Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	Na	CIC	Fe	Cu	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn	Arcilla (%)	Limo	Arena	Clasificación Textural
Zlfa 0-30 cm	6.57	12.24	5.71	0.23	12.1	6.79	12.19	22.48	63.56	34.44	86.9	7.10	64.256	3	67	27	6	Arcilla
Zlfa 30-60 cm	6.75	10.83	2.85	0.1	4.6	5.27	15.19	22.33	42.43	30.45	13.78	4.67	1.722	3.2	73	25	2	Arcilla
Zi 0-30 cm	6.24	13.71	8.69	0.3	19.83	4.81	11.91	27.51	57.3	37.44	204.2	7.72	7.688	4.36	63	21	16	Arcilla
Zi 30-60 cm	6.59	10.19	2.73	0.12	6.61	4.8	9.79	20.54	46.17	28.95	28.98	4.9	2.9	2.82	65	25	10	Arcilla
Zmb 0-30 cm	5.58	15.98	15.51	0.49	23.9	6.62	14.95	32.48	69.65	42.93	225.44	0.64	7.24	24.012	53	27	20	Arcilla
Zmb 3 0-60 cm	5.56	21.26	14.74	0.46	13.36	8.3	16.88	37.55	154.34	2.93	336.53	2.066	5.08	11.753	49	27	24	Arcilla

Siglas= CE conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; P= Fósforo; Nt Nitrógeno total; K= Potasio; Ca= Calcio; Mg= Magnesio; Na= Sodio; CIC= capacidad de intercambio catiónico; Fe= Hierro; Cu= Cobre; Zn= Zinc; Mn= Manganeseo.

El análisis del suelo a la profundidad de 30 a 60 cm en los tres ambientes presentó un pH moderadamente ácido (5.56 a 6.75) y una conductividad eléctrica (CE) fuertemente salino en los ambientes Zlfa y Zi (10.8 y 10.1 dS m<sup>-1</sup>) y fuertemente salino para Zmb (21.26 dS m<sup>-1</sup>). Además, mostró un contenido medio de materia orgánica en Zlfa y Zi (2.8 y 2.7%) y alto para la Zmb (14.7%). El contenido de nitrógeno total (Nt) en Zlfa y Zi fue medio de 0.10 y 0.12% y muy alto en la Zmb (0.46%). En los ambientes Zlfa y Zi presentó un contenido medio de fósforo (P Olsen) (4.6 a 6.6 Mg kg<sup>-1</sup>) y alto contenido para Zmb (13.3 Mg kg<sup>-1</sup>). Las bases intercambiables de K, Ca, Mg y Na presentaron una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los ambientes Zlfa y Zi (30.4 a 28.9 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de suelo) y muy alta en Zmb (42.9 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de suelo). El micronutriente hierro (Fe) en Zlfa, Zi y Zmb fue de 13.7, 28.9 y 336.5; cobre (Cu) de 4.6, 4.9 y 3.2; zinc (Zn) de 1.7, 2.9 y 6.5 y manganeso (Mn) 38, 34.2 y 139.

La profundidad del agua en Zmb sólo presentó inundación hasta enero de 2014. Para la Zi presentó inundación durante los 10 meses de monitoreo, y a principios de febrero a agosto se mantuvo una profundidad de 8 a 12 cm. La Zlfa a final del mes de enero a mayo tuvo una profundidad de 2 a 6 cm., y en los meses de julio a agosto no presentó inundación (Cuadro 3).

Zi (2.8 and 2.7%) and high for Zmb (14.7%). Total nitrogen content (Nt) in Zlfa and Zi was intermediate 0.10 and 0.12% and very high in Zmb (0.46%). Zlfa and Zi had an average content of phosphorus (P Olsen) (4.6 to 6.6 mg kg<sup>-1</sup>) and high for Zmb (13.3 mg kg<sup>-1</sup>). Exchangeable bases of K, Ca, Mg and Na showed high cation exchange capacity (CEC) in Zlfa and Zi (30.4 to 28.9 cmol (+) kg<sup>-1</sup> soil) and very high in Zmb (42.9 cmol (+) kg<sup>-1</sup> soil). The micronutrient iron (Fe) in Zlfa, Zi and ZMB was 13.7, 28.9 and 336.5 respectively; copper (Cu) of 4.6, 4.9 and 3.2; zinc (Zn) of 1.7, 2.9 and 6.5 and manganese (Mn) 38, 34.2 and 139.

Water depth in Zmb only showed flooding until January 2014. Zi presented flood during the 10 months of monitoring, and early February to August remained at a depth of 8 to 12 cm. Zlfa at the end of January to May had a depth of 2 to 6 cm, and in the months of July to August did not show floods (Table 3).

**Cuadro 3. Profundidad del agua (cm) en los 10 meses de monitoreo.**

Ambiente	Mes del año									
	D*	E	F	M	A	M	J	Ju	A	S
Zi	90	34	7	7	7	10	7	4	4	23
Zmb	53	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Zlfa	80	21	5	7	6	2	0	0	0	9

Sigla= D\*: diciembre 2013; E= enero; M= marzo; A= Abril; M= mayo; J= junio; Ju= julio; A= agosto; S= septiembre.

## Discusión

Respecto a la población de la regeneración natural Hoyos *et al.* (2012) reporta que la especie *A. germinans* domina sobre las barras arenosas, suelos bien drenadas, cercanos a tierra firme y con los mayores valores promedios de sedimentación (5.10 cm/año). La similitud estadística entre ambientes se debió a que la alta salinidad del suelo restringe el crecimiento de esta especie. El crecimiento de la especie *A. germinans* y *L. racemosa* está afectada por la cantidad de sal (Benfield *et al.*, 2005 y López-Hoffman *et al.*, 2006). En general la acumulación excesiva de sales en suelos afecta el crecimiento de las plantas ya que agravan el stress hídrico al afectar la absorción de agua. De igual manera las sales trastornan el balance de iones de la solución del suelo ya que los nutrientes están proporcionalmente menos disponibles IUSS *et al.* (2007). Se sabe que existen efectos antagónicos, entre Na y K, entre Na y Ca, y entre Mg y K. En mayores concentraciones las sales pueden directamente ser tóxicas para las plantas. Respecto, a los iones Na y cloruro estos son muy dañinos porque perturban el metabolismo de N.

La población de regeneración natural de mangle negro es poco tolerante a la sombra de otros árboles y por tanto requiere de espacios abiertos para desarrollarse y zonas menos inundables (Febles *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 2011), Esto explica porque no se registraron plantas de regeneración natural en Zi y Zlfa, aunque también podría considerarse que no hubo frutos en el año 2010 y 2011 por la afectación del mangle negro por la oruga *Anacamptodes* sp.

Fue evidentemente la Zmb, presentó mayor porcentaje de radiación solar, el cual permitió desarrollar los diversos procesos fisiológicos de la planta y por consecuencia presenta mayor crecimiento y mayor porcentaje de sobrevivencia como los describe Valladares *et al.* (2004) y Alcaraz (2012) que mayor porcentaje lumínico en un sitio es un nicho de regeneración de las plantas y de mayor crecimiento. Muestra de ello, que la regeneración natural en la Zi y Zlfa, no hubo registro. Aunque en la Zi presentó mayor porcentaje de radiación solar, no favoreció la sobrevivencia de las plantas reforestadas debido a largos periodos de inundación.

La superficie total del ecosistema manglar en Tabasco abarca aproximadamente 56.4 % de suelos salinos (Domínguez *et al.*, 2011). Estos suelos salinos se localizan en una gran variedad de relieves, principalmente en llanuras fluvio-marinas, porque presentan intrusión de agua salina

## Discussion

Regarding the population of natural regeneration Hoyos *et al.* (2012) reported that the species *A. germinans* dominates sandbars, well-drained soils, close to mainland and the highest average values of sedimentation (5.10 cm/year). The statistical similarity between environments was due to high soil salinity limits the growth of this species. The growth of *A. germinans* and *L. racemosa* is affected by the amount of salt (Benfield *et al.*, 2005 and López-Hoffman *et al.*, 2006). Overall the excessive accumulation of salts in soils affects plant growth as it aggravates water stress by affecting water absorption. Similarly salts affect the ions balance of soil solution, since nutrients are proportionately less available IUSS *et al.* (2007). It is known that exist antagonistic effects between Na and K, between Na and Ca, and between Mg and K. In higher concentrations salts can be directly toxic to plants. With respect to Na and chloride ions, these are very harmful because disturb N metabolism.

The population of natural regeneration of black mangrove has little tolerance to shade of other trees and therefore requires open space to develop and lower flooding areas (Febles *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 2011), this explains why it did not recorded plants with natural regeneration in Zi and Zlfa, but could also be considered that there were no fruits in 2010 and 2011 by the attack of the caterpillar *Anacamptodes* sp., to black mangrove.

It was evident Zmb had higher percentage of solar radiation, which allowed developing diverse physiological processes of the plant and therefore has greater growth and higher survival rate as described by Valladares *et al.* (2004) and Alcaraz (2012) that higher lighting percentage in one place is a niche for plant regeneration and higher growth. Proof of this is that there was no natural regeneration in Zi and Zlfa. Although Zi showed higher percentage of solar radiation, did not favor the survival of plants reforested due to long periods of flooding.

The total area of mangrove ecosystem in Tabasco covers about 56.4% of saline soils (Domínguez *et al.*, 2011). These saline soils are located in a variety of reliefs, mainly in alluvial plains, because they have saline water intrusion due to the tide or by water table (Zavala *et al.*, 1999, Palma-López *et al.*, 2007). In a study from López *et al.* (2011) in five mangrove forests in the west central region

por efecto de la marea o por el manto freático (Zavala *et al.* 1999, Palma-López *et al.* 2007). En un estudio de López *et al.* (2011) en cinco bosques de manglar en la región centro occidental del territorio venezolano; cuatro ubicados en la península de Paraguaná y uno en el continente, en la desembocadura del río Ricoa; Reportó la dominancia de la textura arcillosa en suelos del manglar arbóreo estuarino y del achaparrado de laguna hipersalina. En el resto de los manglares prevaleció la textura franco arcilloso arenoso.

## Conclusiones

La información generada de la especie *A. germinans* en esta investigación, fortalece en la toma de decisión en futuras actividades de reforestación del ecosistema manglar. Debido que el ecosistema es complejo, porque están presentes los elementos naturales la cual no se tiene control sobre ello. Por lo tanto es necesario tomarlos en cuenta para el éxito del proyecto de reforestación.

La sobrevivencia del mangle negro en áreas reforestadas o poblaciones de regeneración natural es favorecida en el corto tiempo de inundación. Es decir esta especie no tolera largos periodos de inundación, debido que no presentan o son escasos los neumatóforos y con alturas pequeñas y que no son los suficientes para llevar a cabo los procesos fisiológicos de la planta en específico la respiración cuando este queda expuesto a la inundación. Por tanto no se acepta la hipótesis planteada ya que los porcentajes de sobrevivencia fueron menores a 85% en los tres ambientes.

El crecimiento de plantaciones reforestadas es evidente que tiene mayor altura total en la Zmb. Asimismo, en este ambiente presentó poblaciones de regeneración natural de la especie *A. germinans*, como también la especie *Batis maritima* como invasora.

La radiación solar es importante para los múltiples procesos fisiológicos en todas las especies vegetales. En especial para el proceso de la fotosíntesis, donde se fabrican los azúcares que se utilizan para el crecimiento y funciones vitales de la planta. En particular la especie *A. germinans*, la radiación solar es vital para su crecimiento sin embargo, involucra otros factores como la salinidad alta del suelo que restringe su crecimiento asimismo, el nivel de inundación. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis planteada porque el crecimiento de la especie *A. germinans* interviene la salinidad del suelo.

of Venezuela; four located in the Paraguana peninsula and one on the mainland, in the estuary from the Ricoa River; reported the dominance of clayey soils in soil from estuarine mangrove tree and squat from hypersaline lagoon; in the rest of mangroves predominated sandy clay loam soils.

## Conclusions

The information generated from the species *A. germinans* in this research, strengthens decision making in future reforestation of mangrove ecosystem. Due to the ecosystem is complex, because natural elements are present, of which does not have control over it. Therefore it is necessary to take them into account for the success of the reforestation project.

Black mangrove survival in reforested areas and populations of natural regeneration is favored in the short time of flooding. I.e. this species does not tolerate long periods of flooding, because it does not count with pneumatophores or are scarce and with small heights and are not sufficient to carry out the physiological processes of the plant specific respiration when it is exposed to flooding. Therefore the hypothesis is not accepted because the survival rates were lower than 85% in the three environments.

The growth of reforested plantations obviously has greater overall height in Zmb. Also in this environment it presented populations of natural regeneration of the species *A. germinans*, as *Batis maritima* as invasive species.

Solar radiation is important for many physiological processes in all plant species; especially for the process of photosynthesis, where the sugars which are used for growth and vital functions of the plant are produced. In particular the species *A. germinans*, solar radiation is vital for growth, however, involves other factors like high soil salinity that restricts growth also flooding level. Therefore, the hypothesis is not accepted because the growth of the species *A. germinans* intervenes on soil salinity.

*End of the English version*



## Agradecimiento

Al CONACYT por la beca otorgada, lo cual hizo posible esta investigación. Así como, al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. A la línea 8, “Impacto y mitigación del cambio climático del Colegio de Postgraduados.

## Literatura citada

- Aceves, N., L.A., J.F. Juárez L., D.J. Palma L., R. López L., B. Rivera H., J. A. Rincón R., R. Morales C., R. Hernández A., A. Martínez S. y J.L. Hernández S. 2008. Secretaría de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca. TOMO 1. Estudios para determinar zonas de alta potencialidad de los cultivos en el estado de Tabasco (informe general).
- Alcaraz, A. F.J. 2012. Temperatura, luz, atmósfera, viento. Geobotánica, Tema 20. Universidad de Murcia, España. 13 p.
- Álvarez, O.D.S., J.C. Matiz L., y A. C. Cárdenas. 2011. Modelos digitales batimétricos generados por métodos de interpolación idw, kriging, Shepard y B-Spline en el archipiélago de Islas del Rosario. Revista Geomática UD. GEO No. 5:3-14.
- Barba, E., J.F. Juárez y F.L. Estrada. 2010. Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 81:153-163.
- Basáñez, M. A. de J., G. P. Olmedo y P.M. Rojas. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, México. Revista UDO Agrícola 6(1):114-120.
- Benfield, S.L., Hector M. Guzman., James M. Mair. 2005. Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama. Journal of Environmental Management. 76:263-276.
- Buduba, C. 2004. Muestro de suelos. Criterios básicos. Ficha Técnica. Patagonia Forestal-Año X N° 1. 12 p.
- Carmona, D.G., J.E. M. Morales y E.L. Rodríguez. 2004. Plan de manejo para el manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México: una estrategia para la conservación de sus recursos naturales. Madera y Bosques. 10(2):5-23.
- Carrillo, E.G. 2008. Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales. Edit. Universidad Autónoma de Chapingo. 172 p.
- Carrillo, B.A., E.M. R. Elizalde, N.V. Torrecano y G.O. Flores. 2008. Adaptación ante disturbios naturales, manglar de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Foresta Veracruzana 10(1):31-38.
- Cordero, J., y D. Boshier. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza - CATIE, Oxford, Reino Unido. 1079 p.
- Chan, Hung Tuck, Mark Spalding, Shigeyuki Baba, Mami Kainuma, Alastair Sarre and Steve Johnson. 2012. The Tropical Forest Update is published by the International Tropical Timber Organization. 21(2):1-21.
- CONABIO. 2008. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 35 p.
- Domínguez, D. M., J.C. Zavala, P.Z. Martínez. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.
- FAO. 2007. The World's mangroves. Roma Italia. 89 p.
- Febles, P.J.L., J.L. Novelo y E.S. Batllori. 2009. Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México. Madera y Bosques 15(3):65-86.
- Flores, M. M.A., A.V. Aguirre, M.H. Flores y X.G. Guardado. 2010. El impacto que produce el sector turismo en los manglares de las costas mexicanas. 77:33-38.
- García, C.S. 2005. Dinámicas del C y N en el suelo de manglar en Ventanilla, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Biología Marina. Consultado en Julio 2014. [http://www.umar.mx/tesis\\_PA/tesis\\_digitales/SANCHES-GARCIA-BIO-MAR.pdf](http://www.umar.mx/tesis_PA/tesis_digitales/SANCHES-GARCIA-BIO-MAR.pdf).
- Hernández-Melchor, G.I. 2013. Legislación, cambio de uso de suelo y reforestación en manglares de Cardenas, Tabasco. Colegio de Posgraduados-Campus Veracruz. Tesis Doctoral. 108 p.
- Herrera, H. J.G. y C.A. García. 2010. Bioestadística en Ciencias Veterinarias. Procedimientos de análisis de datos con SAS. Ed. Universidad Complutense de Madrid. 251 p.
- Hoyos, G. R., L.E. G. Urrego y Á.T. Lema. 2103. Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intranual. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744). 61(3):1445-1461.
- IUSS, ISRIC y FAO. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización traducida al español por Mabel Susana Pazos. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 127 p.
- Ke, L., Yu K.S.H., Wong Y.S., Tam N.F.Y. 2005. Spatial and vertical distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in mangrove sediments. Sci. Tot. Environ. 340, 177-187.
- Kohen, E., R. Santus y J. G. Hirschberg. 1995. Photobiology. Academic Press, London.
- Lewis, R.R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. Ecological Engineering. 24:403-418.
- Londoño, A.C. y E. Álvarez. 1997. Mortalidad y crecimiento en bosques de tierra firme y várzea, Amazonía colombiana. TROPENBOS. Bogotá. 30 p.
- Londoño, A.C. y E.M. Jiménez. 1999. Efecto del tiempo entre los censos sobre la estimación de las tasas anuales de mortalidad y de reclutamiento de árboles (periodos de 1, 4 y 5 años). En: Crónica Forestal y del Medio Ambiente. No. 14:41-58.
- López, B.B., M.C. Beatriz y J. Eloy. 2011. Caracterización de los manglares de zonas semiáridas en el noroccidente de Venezuela. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. Interciencia. 36(12):888-893.
- López, Hoffman. L., Niels P. R. A., M. Martinez R., David D. Ackerly. 2006. Salinity and light interactively affect mangrove seedlings at the leaf and whole plant levels. Oecologia. 150(4):545-556.
- Melo, C. O. y R. R. Vargas. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima. Crq - Carder - Corpocaldas - Cortolima Ibagué. 1ra. Edición. 1-21 pp.

- Moreno, M. G. de J., J.G.B. Cerón, R.M. B. Cerón, J.J. S. Guerra, L.E. del A. Amador y E.H. Endañú. 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en los suelos de manglar de Isla del Carmen. UNICAR TECNOCENCIA. 4(1):24-39.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicado en el diario oficial el día 31 de diciembre 2002.
- Olguín, J. E., M. E. Hernández y G.G. Sánchez. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. Rev. Int. Contam. Ambient. 23(3):139-154.
- Ortiz P. M. A., C. Siebe, y S. Cram. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. Cap. 14: 305-322. En Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco, 356 p. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México, 2005. ISBN 970-9000-26-8.
- Ortiz, P. M. A. y A. P. L. Méndez. 2000. Componentes naturales y de uso del suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa Atlántica de México. Investigaciones Geográficas, Abril, numero 041. Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México. 46-61 pp.
- Palma, L. D. J., J. D. Cisneros, E.C. Moreno y J.A. R. Rincón. 2006. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 3ª. Ed. ISPROTABFUNDACION PRODUCE TABASCO-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. 97 p.
- Reeves, G. (2005). Understanding and monitoring hydrocarbons in water. Oakville, Ontario, Canada: Arjay Engineering LTD.
- Rodríguez, Z. M. T., C. S. Troche, A. D. Vázquez, J. D. Márquez, B. B. Vázquez, L. L. Valderrama, S. S. Velázquez, M. I. Cruz, R. Ressler, A. M. Uribe, S. E. Cerdeira, J. Acosta, J. Díaz, R. Jiménez, L. Fueyo y C. Galindo. 2013. Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D. F. 128 p.
- Sanjurjo, R. E. y S. C. Welsh. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Gaceta Ecológica, núm. 74, 55 68.
- SAS Institute Inc. 1995. Logistic Regression Examples Using the SAS System, Versión 6, First Edition, Cary, NC. 163 p.
- Schuyt, K. y Brander, L. 2004. *The economic values of the world's wetlands*. Gland, Switzerland: World Wide Fund for Nature (WWF).
- SEDESPA. 2006. Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco. 99 p.
- Sol, S. Á., G. I.M. Hernández y F.G. Sánchez. 2012. Volumen de madera de mangle negro (*avicennia germinans* l.) muerto defoliado por la oruga de *Anacamptodes* sp en el ejido Las Coloradas, Cárdenas, Tabasco, México. MEMORIAS DEL SEGUNDO CONGRESO MEXICANO DE ECOSISTEMAS DE MANGLAR. 22-26 de octubre de 2012. Ciudad del Carmen, Campeche, México. 33-34 pp.
- Sosa, P., G. y D. A. T. Rodríguez. 2003. Efecto de la calidad de la planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. Vol. IX, NÚM. 1-2003. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1):35-43.
- Spalding, M, Kainuma M, Collins L. 2010. World Atlas of Mangroves. A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB, UNU-INWEH and TNC. London (UK): Earthscan, London. 319 p.
- Valladares, F., I. Aranda. Y D.G. Sánchez. 2004. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Páginas 335-369. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.
- Vilmarie, R. 2008. Recursos acuáticos: el manglar. Programa de Educación en Recursos Acuáticos (PERA). Negociado de Pesca y Vida Silvestre. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA).
- Wood, A.; Dixon, A.; McCartney, M.P. 2013. Conclusions: Transforming wetland livelihoods. In: *Wetland management and sustainable livelihoods in Africa*, eds., Wood, A.; Dixon, A.; McCartney, M.P. New York, USA: Routledge. 258-270 pp.
- Yáñez, E. L., T. Terrazas y L. M. López. 2001. Effects of flooding on wood and bark anatomy of four species in a mangrove forest community. Trees 15:91-97.