



Original Article/Artículo Original

Salinity and soil properties of beach ridge in national marshlands in Mexico

Salinidad y propiedades de suelos de las barras costeras en marismas nacionales de México

Herrera-Romero, J. A.², Bojórquez-Serrano, J. I.^{1*}, Can-Chulim, A.¹, Madueño-Molina, A.¹,
García-Paredes, J. D.¹

¹Universidad Autónoma de Nayarit

²Estudiante de postgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias y pesqueras, Universidad Autónoma de Nayarit

Cite this paper/Como citar este artículo: Herrera-Romero J.A., Bojórquez-Serrano J.I., Can-Chulim A., Madueño-Molina A., García-Paredes J.D. (2019). Salinity and soil properties of beach ridge in national marshlands in Mexico. *Revista Bio Ciencias* 6, e412. doi:
<https://doi.org/10.15741/revbio.06.e412>



ABSTRACT

The delimitation of geoforms of beach ridges was performed by means of field recognition and support of satellite images in National Marshlands in Mexico. One hundred and two sampling points were selected, distributed in three transects, each involving the different beach ridges, as well as mounts and depressions (inter-bars). Each soil sample was analyzed for pH, ECe, texture, organic matter, cations and anions. They were organized by geoforms and basic statistics were obtained, such as mean, median, standard deviation, coefficient of variation and extreme values. The highest values of salinity, organic matter and clay were confirmed to be registered in geoforms of lower altitude by the influence of tidal and fluvial flooding, whereas geoforms of higher altitude such as coastal beach, dune and non-floodable high beach ridges had the highest values of sand and the lowest in clay, organic matter and salinity.

KEY WORDS

Electrical conductivity, ions, geomorphology, coastal plain, Nayarit.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: December 06th 2017.

Accepted/Aceptado: April 18th 2018.

Available on line/Publicado: March 22st 2019.

*Corresponding Author:

José Irán Bojórquez-Serrano, Ciudad de la Cultura Amado Nervo S/N, Col. Centro, CP 63000 Tepic, Nayarit. México. Tel: +52 311 2118800 x 8905, +52 3119095204; E-mail. address: iranbojorquez@hotmail.com

RESUMEN

Se realizó la delimitación de geoformas de las barras costeras por medio de reconocimiento de campo y apoyo de imágenes satelitales en Marismas Nacionales de México. Se seleccionaron 102 puntos de muestreo, distribuidos en tres transectos que involucran las distintas barras costeras, así como lomas y depresiones (inter-barras). A cada muestra de suelo se le efectuó análisis de pH, conductividad eléctrica del extracto, textura, materia orgánica, cationes y aniones. Se organizaron por geoformas y se obtuvieron estadísticos básicos como son la media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación y valores extremos. Se confirma que los valores más elevados de salinidad, materia orgánica y de arcilla se registran en las geoformas de menor altitud por la influencia de la inundación mareal y fluvial, mientras que en las geoformas de mayor altitud como son la playa y duna costera y la barra alta no inundable tienen los valores más altos de arena y los más bajos en arcilla, materia orgánica y salinidad.

PALABRAS CLAVE

Conductividad eléctrica, iones, geomorfología, llanura costera, Nayarit.

Introduction

Around 890 million hectares on the planet are found to be affected by salts, approximately representing 6 % of the continental surface (Trejo *et al.*, 2013; FAO, 2015). It is estimated that coastal salty soils affect 230 million hectares distributed in four regions worldwide: 1) coastline of central Asia and northern Asia, 2) coastline of Australia and Tasmania, 3) eastern and southeastern coastline of Asia and 4) coastlines of Mexico, South America and Cuba (Li *et al.*, 2014).

The coastal plains consist in beach ridges of the transition systems between the continent and the ocean (Pierik *et al.*, 2014) and are characterized by frequent interchanges and transformation of materials and energy. Marshlands are low-lying depressions in coastal zones which are formed in these zones, which are found below the maximum level of high tides, but protected from them by natural ridges and that only interact through water (Lankford, 1977).

The Coastal Plain of Nayarit, the area of study, was formed between 4,000 – 4,500 years ago (Bojórquez *et al.*, 2007; Curray, & Moore, 1964). The salinization process of the coastal plains has its origin in changes related to transgressions and marine regressions occurred in Pleistocene and Holocene periods (Curray & Moore, 1964; Fritz *et al.*, 2012; Pierik *et al.*, 2014). According to Curray & Moore (1964) beach ridges and saline marshlands, are extended along the coastal plains and provide numerous environmental services and high biological productivity (Aburto *et al.*, 2008). Zhang *et al.*, (2011) evidenced this by finding out that soils affected by salts in coastal ecosystems make conditional the distribution of vegetation and soil use.

Nowadays, anthropogenic activities like felling, filling, trenching, draining and dredging, have repercussions on the physico-chemical properties in soils, and modify their natural status due to contaminants and to the changes in the hydric regimen (Manzano *et al.*, 2014).

Several studies report the distribution of salts in coastal marshlands and wetlands (Amezketá, 2006; Huckelbridge *et al.*, 2010), such as the ones realized in the Yellow River in China (Yu *et al.*, 2014), the lower lands of the Volga Delta in Russia (Yamnova *et al.*, 2010) and the plains of the Malaysian Peninsula (Roslan *et al.*, 2010).

Introducción

Alrededor de 890 millones de hectáreas en el planeta se encuentran afectadas por sales, lo que representa aproximadamente 6 % de la superficie continental (Trejo *et al.*, 2013; FAO, 2015). Se estima que los suelos salinos costeros afectan 230 millones de hectáreas distribuidas en cuatro regiones del mundo: 1) costa de Asia central y norte de África, 2) costa de Australia y Tasmania, 3) costa del este y sudeste de Asia y 4) costas de México, América del sur y Cuba (Li *et al.*, 2014).

Las llanuras costeras consisten en barreras de playa de los sistemas de transición entre el continente y el océano (Pierik *et al.*, 2014) y se caracterizan por frecuentes intercambios y transformación de materiales y energía. En estas zonas se forman las marismas que son depresiones de las zonas costeras, que se encuentran por debajo del nivel máximo de la marea alta, pero protegida de ella por barreras naturales y únicamente interactúan a través del agua (Lankford, 1977).

La Llanura Costera de Nayarit, área de estudio se formó entre 4 000 - 4 500 años (Bojórquez *et al.*, 2007; Curray, & Moore, 1964). El proceso de salinización de las llanuras costeras tiene su origen en cambios relacionados con transgresiones y regresiones marinas ocurridas en periodos del Pleistoceno y Holoceno (Curray & Moore, 1964; Fritz *et al.*, 2012; Pierik *et al.*, 2014). De acuerdo a Curray & Moore (1964) las barras costeras y marismas salinas, son extensas en la llanura costera y proveen numerosos servicios ambientales y alta productividad biológica (Aburto *et al.*, 2008). Evidencia de esto lo presenta Zhang *et al.*, (2011) al encontrar que los suelos afectados por sales en los ecosistemas costeros condicionan la distribución de la vegetación y usos del suelo.

En la actualidad las actividades antropogénicas como la tala, el relleno, zanjeo, drenados y dragados, repercuten en las propiedades físico-químicas de los suelos y modifican su estado natural debido a los contaminantes y a los cambios en el régimen hídrico (Manzano *et al.*, 2014).

Diversos estudios reportan la distribución de sales en marismas costeras y humedales (Amezketá, 2006; Huckelbridge *et al.*, 2010), tales como los realizados en el río amarillo en China (Yu *et al.*, 2014), las tierras bajas de delta de Río Volga en Rusia (Yamnova *et al.*, 2010) y las llanuras de la Península de Malasia (Roslan *et al.*, 2010).

In national marshlands in Mexico, there are antecedents where the coastal plain is regionalized in four main landscapes. According to Bojórquez *et al.*, (2006) and González *et al.*, (2009), three of them are found within this ecosystem, 1-Fluvial deltaic Plain, 2- Marshlands with coastal lagoons and 3-Beach ridges. In the beach ridges there are Solonchack, Arenosoles and Regosoles soils, their distribution depends on the influence of tides, the highest parts are dominated by Arenosoles and the parts of lowest altitude by Solonchack (Bojórquez *et al.*, 2008). The content of organic carbon (derived from organic matter) of the soils in the zone of beach ridges in national marshlands, of the state of Nayarit; it is higher in geofoms of islet and island and lower in the zone of sandy and clayey ridges (Valdés *et al.*, 2011).

The objective of this work was to characterize the salinity, mechanic composition and organic matter of soils in geofoms of non-flooding high ridges, medium ridge with seasonal flooding and their inter-ridges (hills and depressed lands) in the national marshland system of Mexico.

Material and methods

Three transects within the landscape of beach ridges were selected, in the sub-province of Delta Santiago River, each one with a length of 450 m and 3 km apart from each other, located between the coordinates 21°59'12.98" and 21°58'23.78" North latitude and 105°34'30.22" and 105°38'29.48" West longitude (Figure 1); this area was selected for presenting the highest number of ridges parallel to the coastline in the ecosystem of National Marshlands of Mexico. With data taken and analyzed from the Santa Cruz weather station over the last 10 years, (21°58'44.2" North latitude and 105°34'44.8" West latitude at an altitude of 2 masl), humid sub-tropical climate, average annual temperature of 24.9 °C, average maximum temperature of 30 °C and average minimum of 19.7 °C, mean proportional annual precipitation of 1128 mm.

Delimitation of geofoms

The delimitation of geofoms of the beach ridges was realized by means of field recognition and of the help of satellite images Landsat 8 year 2013 and Google Earth 2014. Criteria of discrimination were the dynamics of flooding of geofoms, firstly flooded and

En marismas nacionales de México existen antecedentes donde regionalizan la llanura costera en cuatro grandes paisajes. De acuerdo a Bojórquez *et al.* (2006) y a González *et al.* (2009), tres de ellas se localizan dentro de este ecosistema, 1-Llanura deltaica fluvial, 2-Marismas con lagunas costeras y 3-Barras costeras. En las barras costeras existen suelos Solonchack, Arenosoles y Regosoles su distribución depende de la influencia de la marea, en las partes más altas dominan los Arenosoles y en las partes de menor altitud los Solonchack (Bojórquez *et al.*, 2008). El contenido de carbono orgánico (derivado de la materia orgánica) de los suelos en la zona de barras costeras en marismas nacionales, del estado de Nayarit; es mayor en las geofomas de islote e isla y menor en la zona de barras arenosas y arcillosas (Valdés *et al.*, 2011).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la salinidad, la composición mecánica y la materia orgánica de los suelos en las geofomas de barra alta no inundable, barra media con inundación estacional y sus inter-barras (Lomas y depresiones) en el sistema de marismas nacionales de México.

Material y métodos

Se seleccionaron tres transectos dentro del paisaje de barras costeras de la subprovincia del Delta del río Santiago, cada uno con una longitud de 450 m y 3 km de distancia entre sí, localizados entre las coordenadas 21°59'12.98" y 21°58'23.78" de Latitud Norte y 105°34'30.22" y 105°38'29.48" de Longitud Oeste (Figura 1); esta área fue seleccionada por presentar el mayor número de barras paralelas a la línea de costa en el ecosistema de Marismas Nacionales de México. Con datos tomados y analizados de los últimos 10 años, de la estación meteorológica Santa Cruz (Latitud N de 21°58'44.2" y Longitud O de 105°34'44.8" a una altura de 2 masl), clima fue tropical subhúmedo, temperatura promedio anual de 24.9 °C, temperatura máxima promedio de 30 °C y mínima promedio de 19.7 °C, la precipitación media anual es de 1128 mm.

Delimitación de geofomas

Se realizó la delimitación de geofomas de las barras costeras por medio de reconocimiento de campo y apoyo de imágenes satelitales Landsat 8 del año 2013 y Google Earth 2014. Los criterios de discriminación fueron la dinámica de inundación de las geofomas, primero inundables

non-flooded, and secondly the influence of ordinary, extraordinary and seasonal tides (rainy season).

Sampling of soils by drilling

Soil sampling was carried out in February and March 2015, with the purpose of avoiding flooded zones caused by the rainy season and collecting homogenous samples. One hundred and two sampling points were selected and distributed in three transects with 38, 36 and 28 samples, which involve the different beach ridges, as well as hills and depressed lands (inter-ridges); the distance between each point was approximately 10 m and 3 km between each transect. The samples were collected according to the method used by Angiolini *et al.*, (2013), Bojórquez *et al.*, (2008) and Salgado *et al.*, (2012), which consisted in recollecting soil with a manual drill with 6.5 cm in diameter of the nucleus at a depth from 0 to 20 cm. The samples were taken by placing a 25 m² quadrant divided into four areas with the same proportions, a sample was collected from the soil in the center of each one of them, forming a soil sample composed by four sub-samples in each selected site and geo-referenced, the samples were poured in a recipient where they were homogenized.

Analysis of soil samples

The collected samples were prepared for analysis, prior drying-up, and then sieving with a two-millimeter mesh. Also, a saturation paste was made from 400 grams of soil in order to perform the extraction of salts contained in soil by means of Buchner's suction-by-funnel technique (Semarnat, 2002).

Prior analysis of texture, soil samples were washed with 650 mL of distilled water. Fifty mL from the washing were extracted in order to be evaluated with silver nitrate 0.05 N, until the sample stopped presenting a white precipitation. The aforementioned had the purpose of extracting the salts from each sample and avoiding altering the reading of the hydrometer.

Analyses of texture were realized by means of the Boyoucos method, % of organic matter (OM) by volumetry, Na⁺ and K⁺ by flamometry, SO₄²⁻ by turbidimetry based on NOM-021-RECNAT (Semarnat, 2002); pH with the potentiometric method, electrical conductivity of the extract (ECe) by conductimetry, cations (Ca²⁺, Mg²⁺) and anions (CO₃²⁻, HCO₃⁻ and Cl⁻) by volumetry (Richards, 1990).

y no inundables, y segundo, la influencia de la marea ordinaria, extraordinaria y estacional (periodo de lluvias).

Muestreo de suelos con barrena

El muestreo de suelo se realizó en los meses de febrero y marzo de 2015, con la finalidad de evitar zonas inundadas provocadas por la temporada de lluvia y coleccionar muestras homogéneas. Se seleccionaron 102 puntos de muestreo, distribuidos en tres transectos con 38, 36 y 28 muestras, mismas que involucran las distintas barras costeras, así como lomas y depresiones (inter-barras); la distancia entre cada punto fue 10 m aproximadamente y entre cada transecto de 3 km. Las muestras se coleccionaron de acuerdo a la metodología utilizada por Angiolini *et al.* (2013), Bojórquez *et al.* (2008) y Salgado *et al.* (2012), misma que consistió en recolectar suelo con una barrena manual de 6.5 cm núcleo de diámetro a una profundidad de 0 a 20 cm. Las muestras se tomaron colocando un cuadrante de 25 m² dividido en cuatro áreas de igual proporción, se coleccionó una muestra de suelo en el centro de cada una de ellas, formando una muestra de suelo compuesta por cuatro submuestras en cada sitio seleccionado y georreferenciado, las muestras se vertieron en un recipiente donde fueron homogenizadas.

Análisis de muestras de suelo

Las muestras coleccionadas fueron preparadas para su análisis, con un previo secado, y posteriormente tamizado con malla de 2 mm. También se realizó una pasta de saturación con 400 gramos de suelo para realizar la extracción de sales contenidas en el suelo por medio de la técnica de succión en embudo de Buchner (Semarnat, 2002).

Previo al análisis de textura, se hizo un lavado de las muestras de suelo con 650 mL de agua destilada. Se extrajeron 50 mL del lavado para valorarlos con nitrato de plata 0.05 N, hasta que la muestra dejó de presentar precipitado de color blanco. Lo anterior, con la finalidad de extraer las sales de cada muestra y evitar alterar la lectura del densímetro.

Se efectuaron análisis de textura por el método Boyoucos, % de materia orgánica (OM) por volumetría, Na⁺ y K⁺ por flamometría, SO₄²⁻ por turbidimetría con base a la NOM-021-RECNAT (Semarnat, 2002); pH con el método potenciométrico, conductividad eléctrica del extracto (ECe) por conductimetría, cationes (Ca²⁺, Mg²⁺) y aniones (CO₃²⁻, HCO₃⁻ y Cl⁻) por volumetría (Richards, 1990).

Data processing

Data was organized by geoforms from each one of the transects and basic statistics were obtained (mean, median, standard deviation, coefficient of variation and extreme values) of the values of pH, ECe, OM, sand, silt and clay. The normality of the data was tested by using Kolmogorov-Smirnov's test (KS). An unidirectional analysis of variance (ANOVA) was realized to evaluate the difference of the soil properties and geoforms, this analysis allowed to compare the mean values with the purpose of determining if there are significant differences among them, grouped by means of Tukey's test for multi-comparison ($p < 0,05$); the above was realized by means of the SPSS program version 15.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.). The analysis of components of variance (VCA) was realized to estimate the contribution of each random effect to the variance of the dependent variable. When calculating the components of variance, the restricted maximum likelihood (RML) (Available at: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_23.0.0/spss/advanced/idh_varc.html) was used.

With the Statistica 7 software, the ionic concentrations of the studied geoforms were represented to identify the ionic concentration in each studied geoform.

Results

Defined geoforms

Five geoforms were defined for this study, beach and coastal dunes (1), non-flooded high ridges (2), medium ridge with seasonal floods (3), hill of the medium ridge (3L) and depression of the medium ridge (3d) (Figure 1). These are described in the following lines:

Beach and coastal dune. This zone of the coast was where high values of sand content in soil and low percentages of clay, organic matter and salinity were found.

Non-flooded high ridge. It was characterized by high content of sand in soil and low levels of salts and clay, it reached a height enough to maintain the phreatic layer low, without the salts affecting the roots of the plants, the uptake of water in rainy season helped salt to not ascend to the surface.

Proceso de datos

Los datos se organizaron por geoformas de cada uno de los transectos y se obtuvieron los estadísticos clásicos (media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación y valores extremos) de los valores de pH, ECe, OM, arena, limo y arcilla. Se probó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS). Se realizó un análisis unidireccional de la varianza (ANOVA) para evaluar la diferencia en las propiedades del suelo y de las geoformas, este análisis permitió comparar los valores medios con la finalidad de determinar si existen diferencias significativas entre ellas, agrupadas mediante la prueba de Tukey para multicomparación ($p < 0,05$); lo anterior mediante el programa SPSS versión 15.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EE.UU.). El Análisis de Componentes de la varianza (VCA), se realizó para estimar la contribución de cada efecto aleatorio a la varianza de la variable dependiente. Al calcular los componentes de la varianza, se pudo determinar dónde centrar la atención para reducir la varianza, se utilizó el Modelo de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) (Disponible en: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_23.0.0/spss/advanced/idh_varc.html).

Con el software Statistica 7, se representaron las concentraciones iónicas de las geoformas estudiadas para identificar la concentración iónica en cada geoforma estudiada.

Resultados

Geoformas definidas

Se definieron cinco geoformas para este estudio, playa y dunas costeras (1), barra alta no inundable (2), barra media con inundación estacional (3), loma de la barra media (3L) y depresión de la barra media (3d) (Figura 1). A continuación, se describen:

Playa y duna costera. En esta zona de la costa se encuentran valores altos de contenido de arena en el suelo y porcentajes bajos de arcilla, materia orgánica y salinidad.

Barra alta no inundable. Se caracteriza por alto contenido de arena en el suelo y bajos niveles de sales y arcilla, alcanza la altura suficiente para mantener la capa freática baja sin que las sales afecten las raíces de las plantas, la captación de agua en la temporada de lluvias ayuda a que la sal no ascienda a la superficie.

Medium ridge with seasonal floods. It is a ridge with lower altitude that was affected by tides and water coming from rains and eventually from San Pedro river. It had a high concentration of salts from the upper part of soil and medium concentration of organic matter. These soils had higher content of clay compared to the geoforms of the beach, coastal dune and non-flooded high ridge.

Barra media con inundación estacional. Es una barra de menor altitud que es afectada por la marea y agua proveniente de las lluvias y eventualmente del río San Pedro. Tiene alta concentración de sales desde la parte superior del suelo y contenido medio de materia orgánica. Estos suelos tienen mayor contenido de arcilla comparado con las geoformas de playa y duna costera y barra alta no inundable.

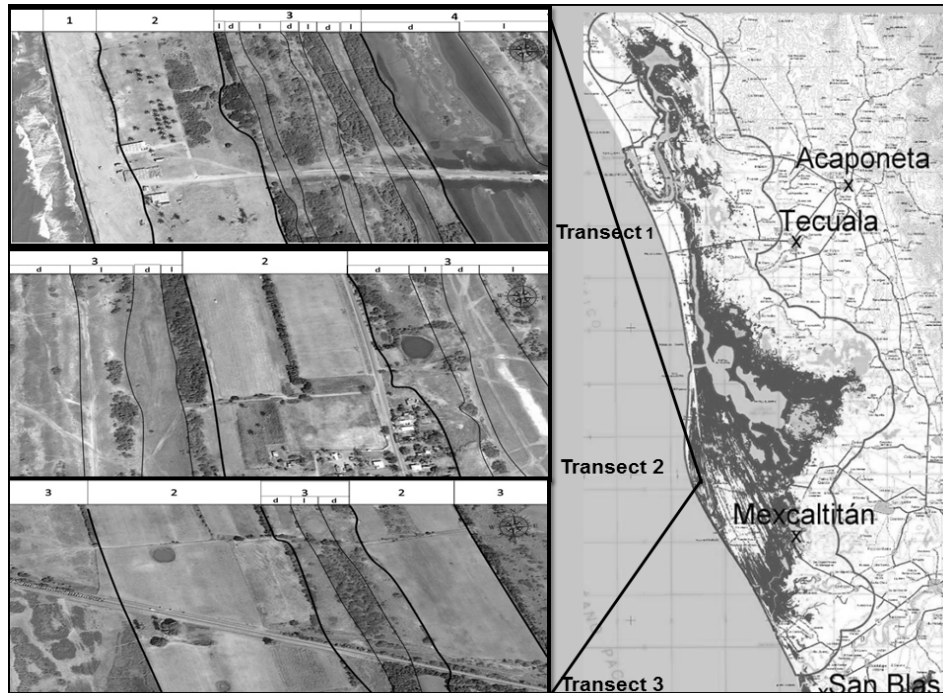


Figura 1. Localización del área de estudio y geoformas de tres transectos, donde 1=Playa y duna costera, 2=Barra alta no inundable, 3=Barra media con inundación estacional (dividida en dos, 3L y 3d), 3L= Loma de barra media con inundación estacional, 3d= Depresión de barra media con inundación estacional y 4=Barra baja (no se generó datos).

Figure 1. Location of the study area and geoforms of three transects, where 1 = Beach and coastal dune, 2 = Non flooded high-ridge, 3=Intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding (divided into two, 3L and 3d), 3L= Most intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding, 3d= Depression intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding and 4=Low-ridge (no data was generated).

Hill of medium ridge with seasonal floods. It was located within the medium ridge with seasonal floods and presented hill-like elevations easily known in the field, each hill ended up joined to a depression of ridge, that are constantly in touch with the brackish water of the marshlands, ravines and estuaries, accumulating salts in the upper part of the soil. It presented a mean content of organic matter, due to the fact that water slowly descends during the year, allowing for the accumulation of organic matter in the soil.

Loma de barra media con inundación estacional. Se localiza dentro de la barra media con inundación estacional y presenta elevaciones en forma de loma reconocidas fácilmente en campo, cada loma termina unida a una depresión de barra, que están en constante contacto con el agua salobre de las marismas, cañadas y esteros, acumulando las sales en la parte superior del suelo. Presenta contenido medio de materia orgánica, debido a que el agua desciende de forma lenta durante el año permitiendo la acumulación de materia orgánica al suelo.

Depression of medium ridges with seasonal floods. Lower “cañadas” or ravines which were found within the geoform of the medium ridge with seasonal flood, they were located between two different elevations, the accumulation of water and salts was constant, when the water in these zones was evaporated, the salts emerge forming saline crusts in most of the cases, the vegetal matter did not decay entirely into organic matter, thus forming turf material.

Classic statistics

A summary of the values of pH, ECe, OM, sand, slime and clay was presented in Table 1. The data of pH presented a lower standard deviation (SD) due to the ranks managed by this measurement scales, and the little variability in the ranks measured, however, in its measurement scale there were diverse soils that come from moderately acid, neutral to fairly alkaline; if they were not found in a diversity of coastal ridges of different altitude, it indicated that the closer to sea level, the greater the values of ECe, this is reflected in a high standard deviation of more than 26 standard deviations among geoforms. Likewise, the comparison of means among the established geoforms was illustrated in Figure 2.

Depresión de barra media con inundación estacional. Son las partes bajas “cañadas” que se encuentran dentro de la geoforma de Barra media con inundación estacional, se localizan entre dos elevaciones diferentes, la acumulación de agua y sales es constante, en el momento que se evapora el agua en estas zonas las sales afloran formando costras salinas en la mayoría de los casos, la materia vegetal no alcanza a descomponerse totalmente en materia orgánica formando así el material de turba.

Estadísticos clásicos

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los valores de pH, ECe, OM, arena, limo y arcilla. Los datos de pH presentan una menor desviación estándar (SD) debido a los rangos que maneja esta escala de medida y la poca variabilidad en los rangos medidos, sin embargo, en su escala de medición tenemos suelos diversos que van de moderadamente ácidos, neutros a medianamente alcalinos; al encontrarse en una diversidad de barras costeras de diferente altitud indica que entre más cercano al nivel del mar los valores de ECe aumentan, esto se refleja en una SD alta de más de 26 desviaciones estándar entre geoformas. Asimismo, en la Figura 2 se ilustra la comparación de medias entre las geoformas establecidas.

Table 1.
Statistical summary of the soil properties of the coastal ridge under study

Tabla 1.
Resumen estadístico de las propiedades del suelo de las barras costeras en estudio

| Properties | Mean | Median | DS | CV % | Variance | Minimun | Maximun |
|------------------------|-------|--------|-------|--------|----------|---------|---------|
| pH | 6.62 | 6.61 | 0.50 | 7.53 | 0.25 | 5.27 | 7.66 |
| CEc dS m ⁻¹ | 25.70 | 13.92 | 26.17 | 101.85 | 685.04 | 0.15 | 88.60 |
| Sand | 81.01 | 81.68 | 9.29 | 11.47 | 86.33 | 59.68 | 96.96 |
| Silt | 11.31 | 11.39 | 5.94 | 52.52 | 35.31 | 1.57 | 21.71 |
| Clay | 7.68 | 7.11 | 4.46 | 58.07 | 19.86 | 1.40 | 22.97 |
| %M.O | 1.90 | 1.64 | 1.26 | 66.39 | 1.60 | 0.40 | 8.33 |

DS= Standard deviation CV%= Coefficient of variation

DS= Desviación Estandar CV%= Coeficiente de variación

Soil pH

There were no significant differences in the values of pH among the studied geoforms (Figure 2), the averages oscillated between 6.4 and 6.8, which corresponded to the neutral values according to the scale by Semarnat (2002).

El pH del suelo

No hay diferencias significativas en los valores de pH entre las geoformas estudiadas (Figura 2), los promedios oscilan entre 6.4 y 6.8 mismo que corresponden a valores neutros según la escala de Semarnat (2002).

Electrical conductivity of the saturation extract

The electrical conductivity of the saturation extract (ECe) presented significant differences among the geoforms of the medium ridge with seasonal floods, hill of medium ridge and depression of medium ridge with seasonal floods, with values of 41.27, 47.62, and 34.04 dS m⁻¹ (non-saline or having despicable effects of salinity) and beach and coastal dunes 5.13 dS m⁻¹ (saline soil) with the lowest values (Figure 2).

Organic matter

Statistically significant differences were found in the contents of soil OM among the studied geoforms. The highest values were in medium ridge, hill and depression with seasonal floods (2.31 %), classified as soils with medium organic content, while soils with low organic content were recorded in the geoforms of the beach and coastal dune (0.67 %) and in the non-flooded high ridge, which despite of having 1.39 % on average and of sharing values with both groups, were located in soils with low organic content according to the classification of Semarnat (2002) (Figure 2).

Particle size distribution (PSD)

There were significant differences in the quantity of sand in the studied soils, the highest values or sandy soils were present in beach and costal dunes geoforms (95.30 %), followed by the non-flooded high ridge with sand-frank soil (84.38 %), while the lowest values or sand-frank soils were in the depressions of the medium ridge with seasonal floods (76.83 %). On the contrary, the highest content of clay was in the depressions of the medium ridge with seasonal flood (9.26 %) and the lowest proportion was in the beach, coastal dunes and in the non-flooded ridge (Figure 2).

Variance Components Analysis (VCA)

The values of the variance estimated by means of the REML method for each one of the geoforms were shown in Table 2. In beach and coastal dune geoforms, the maximum verisimilitude did not exist for the components of pH, sand, slime, clay and organic matter, whereas the maximum verisimilitude was observed in the geoforms of medium ridge with seasonal floods and their respective inter-ridges (hill and depression) since the probability

Conductividad eléctrica del extracto de saturación

La conductividad eléctrica del extracto de saturación (ECe) presentó diferencias significativas entre las geoformas de la barra media con inundación estacional, loma de barra media y depresión de barra media con inundación estacional, con valores de 41.27, 47.62 y 34.04 dS m⁻¹ (Muy fuertemente salino) respectivamente y las geoformas de barra alta no inundable 0.92 dS m⁻¹ (no salinas o de efectos despreciables de salinidad) y playa y dunas costeras 5.13 dS m⁻¹ (suelo salino) con los valores más bajos (Figura 2).

Materia Orgánica

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos de OM de los suelos entre las geoformas estudiadas. Los valores más altos están en la barra media, loma y depresión con inundación estacional (2.31 %) clasificados como suelos de contenido orgánico medio, mientras que los suelos de bajo contenido orgánico se registraron en la geoforma de playa y duna costera (0.67 %) y las barras altas no inundables que a pesar de tener 1.39 % en promedio y compartir valores con ambos grupos, la clasificación de Semarnat (2002) los coloca en suelos de bajo contenido orgánico (Figura 2).

Distribución de tamaño de partículas (PSD)

Existen diferencias significativas en la cantidad de arena en los suelos estudiados, los valores más altos o suelos arenosos se presentaron en la geoforma playa y dunas costeras (95.30 %), seguido de la barra alta no inundable con suelo areno francoso (84.38 %), mientras que los valores más bajos o suelos franco arenosos están en las depresiones de la barra media con inundación estacional (76.83 %). En contrario, el mayor contenido de arcilla está en las depresiones de la barra media con inundación estacional (9.26 %) y la proporción más baja en la playa, dunas costeras y en la barra no inundable (Figura 2).

Análisis de componentes de varianza (VCA)

Los valores de la varianza estimada mediante el método REML para cada una de las geoformas se muestran en la Tabla 2. En la geoforma de playa y duna costera, la máxima verosimilitud no existe para los componentes de pH, arena, limo, arcilla y materia orgánica, en cambio, la máxima verosimilitud se observó en las geoformas de barra media con inundación estacional y sus respectivas inter-barras (loma y depresión) ya que la probabilidad es mayor

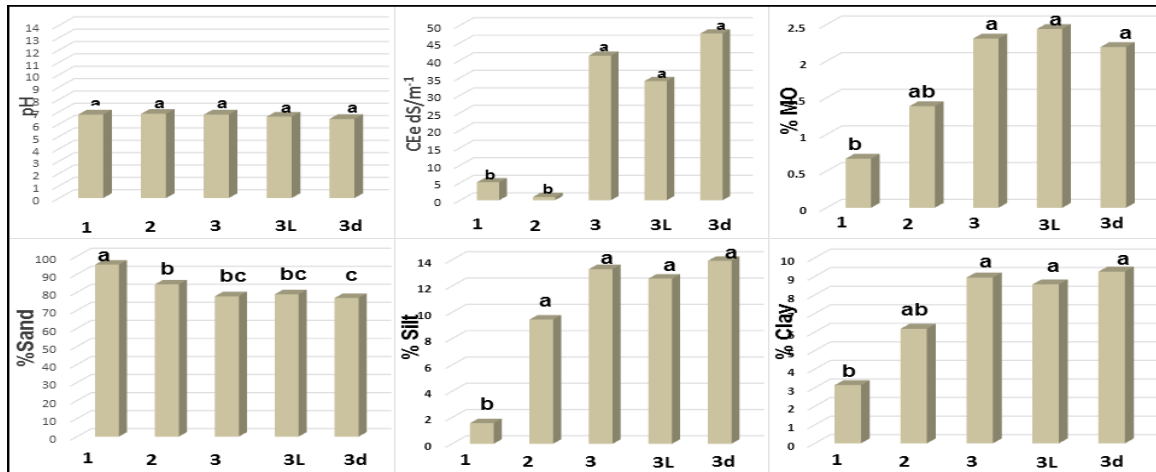


Figura 2. Comparación de medias de las propiedades del suelo en diferentes geoformas de marismas. Los histogramas corresponden a los valores medios de las propiedades del suelo. Las letras indican diferencias significativas entre geoformas por la prueba de Tukey ($p < 0.05$). 1=Playa y duna costera, 2=Barra alta no inundable, 3=Barra media con inundación estacional, 3L=Loma de barra media con inundación estacional y 3d=Depresión de barra media con inundación estacional.

Figure 2. Comparison of means of soil properties in different marshlands geomorphs. The histograms correspond to the average values of soil properties. The letters indicate significant differences between geomorphs by the Tukey test ($p < 0.05$). 1 = Beach and coastal dune, 2 = Non flooded high-ridge, 3 = Intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding 3L= Most intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding and 3d= Depression intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding.

was higher on each one of their components due to the fact these soils had medium organic content, highly saline and with a sand-frank texture. Elements expressed as percentages were accumulated and presented in Figure 3.

en cada uno de sus componentes debido a que estos suelos son de contenido orgánico medio, muy fuertemente salinos y de textura franco arenoso. Los elementos expresados como porcentajes se acumularon y se representó en la Figura 3.

Results of the ionic concentration of each one of the geomorphs were presented below:

A continuación, se presentan los resultados de la concentración iónica de cada una de las geoformas:

Table 2.
Components of the variance of soil properties in the different geomorphs, estimated with REML limited to be non-negative
Tabla 2.
Componentes de la varianza de las propiedades del suelo en las diferentes geoformas, estimados con REML limitados a ser no negativos

| Geomorphs | pH | CEe | Sand | Silt | Clay | M. O. |
|---|------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Beach | 0.02 | 20.91 | 0.67 | 0.00 | 0.67 | 0.02 |
| Non Flooded high-ridge | 0.12 | 1.42 | 71.77 | 33.34 | 11.67 | 0.61 |
| Intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding | 0.31 | 489.80 | 63.54 | 23.27 | 21.58 | 1.88 |
| Most Intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding | 0.40 | 319.43 | 67.69 | 24.85 | 22.15 | 2.64 |
| Depression intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding | 0.23 | 545.64 | 60.62 | 21.61 | 22.21 | 1.30 |

REML= The maximum likelihood restricted method
 REML= El método restringido de máxima verosimilitud

Distribution of ions in the geoforms

The ionic distribution in soils was identified for each one of the studied geoforms, the anion that remained dominant is Na^+ and the dominant cation was Cl^- , NaCl salt was formed during the evaporation process. This type of salt was created due to the influence of sea water that is introduced in the coastal zones caused by the movement of tides (Figure 3).

In the non-flooded high ridge, the lowest value of Na^+ was 0.227 g kg^{-1} , with an average of 0.83 g kg^{-1} ; followed by beach and coastal dunes geoforms with 4.66 g kg^{-1} , the medium ridges, hills and depressions with seasonal floods presented 11.55 , 11.95 and 11.21 g kg^{-1} , respectively (Figure 3). The highest value was located in the depression of medium ridge with seasonal floods with 30.73 g kg^{-1} of Na^+ , the cation with lower presence was K^+ with 0.041 g kg^{-1} .

Regarding anions, Cl^- dominated on each one of the described geoforms. The lowest values were present in the non-flooded high ridge with an average of 1.46 g kg^{-1} , followed by the beach and coastal dune with 8.20 g kg^{-1} (Figure 3), the highest average values were registered in medium ridges, hills and depressions with seasonal floods geoforms with 27.8 , 26.92 y 28.58 g kg^{-1} , respectively (Figure 3), the depression of medium ridge with seasonal floods resulted being the one with the highest salinity (64.47 g kg^{-1}).

The second most important anion was SO_4^{2-} in all geoforms, with an average of 1.60 g kg^{-1} . It is important to mention that carbonates were not found in none of the analyzed geoforms, the presence of bicarbonates was almost null, with an average value of 0.10 g kg^{-1} .

Discussion

This work provided more details on the geoforms established in this work compared with previous reports (Bojórquez *et al.*, 2008; Valdéz *et al.*, 2011). Salinity values found among the geoforms coincided with the ones recorded by Yamnova *et al.*, (2010), for the low lands of the Delta Volga River in Russia, where the highest degree was found in the depression with crusty Solonchaks and the lowest values in the reliefs of low valleys and low hills. Similar

Distribución de iones en las geoformas

Se identificó la distribución iónica en los suelos para cada una de las geoformas en estudio, el anión que permanece dominante, es el Na^+ y el catión dominante es el Cl^- , en el proceso de evaporación forman la sal NaCl . Este tipo de sal se debe a la influencia del agua de mar que se introduce en las zonas costeras debido al efecto del movimiento de las mareas (Figura 3).

En la barra alta no inundable se identificó el valor más bajo de Na^+ fue de 0.227 g kg^{-1} , con un promedio de 0.83 g kg^{-1} ; seguido de la geoforma playa y dunas costeras con 4.66 g kg^{-1} , las barras medias, lomas y depresiones con inundación estacional presentaron 11.55 , 11.95 y 11.21 g kg^{-1} , respectivamente (Figura 3). El valor más alto se localizó en la depresión de barra media con inundación estacional con 30.73 g kg^{-1} de Na^+ , el catión con menor presencia fue el K^+ con 0.041 g kg^{-1} .

Del lado de los aniones, se encuentra el Cl^- dominando en cada una de las geoformas descritas. Los valores más bajos están presentes en la barra alta no inundable con un promedio de 1.46 g kg^{-1} , seguido de la playa y duna costera con 8.20 g kg^{-1} (Figura 3), los valores promedio más altos se registraron en las geoformas barra media, loma y depresión con inundación estacional con 27.8 , 26.92 y 28.58 g kg^{-1} , respectivamente (Figura 3), la depresión de barra media con inundación estacional resultó la de mayor salinidad (64.47 g kg^{-1}).

El segundo anión más importante fue el SO_4^{2-} en todas las geoformas, con promedio de 1.60 g kg^{-1} . Cabe mencionar que no se encontró presencia de carbonatos en ninguna geoforma analizada, la presencia de bicarbonatos fue casi nula con valor promedio de 0.10 g kg^{-1} .

Discusión

Se logró dar mayor detalle a las geoformas establecidas en este trabajo en relación con reportes previos (Bojórquez *et al.*, 2008; Valdéz *et al.*, 2011). Los valores de salinidad encontrados entre las geoformas coinciden con los registrados por Yamnova *et al.* (2010), para las tierras bajas de delta de Río Volga en Rusia, donde el grado más alto se encontró en las depresiones con Solonchaks crujientes y los valores más bajos en los relieves de hondonadas y montículos. Similares resultados fueron

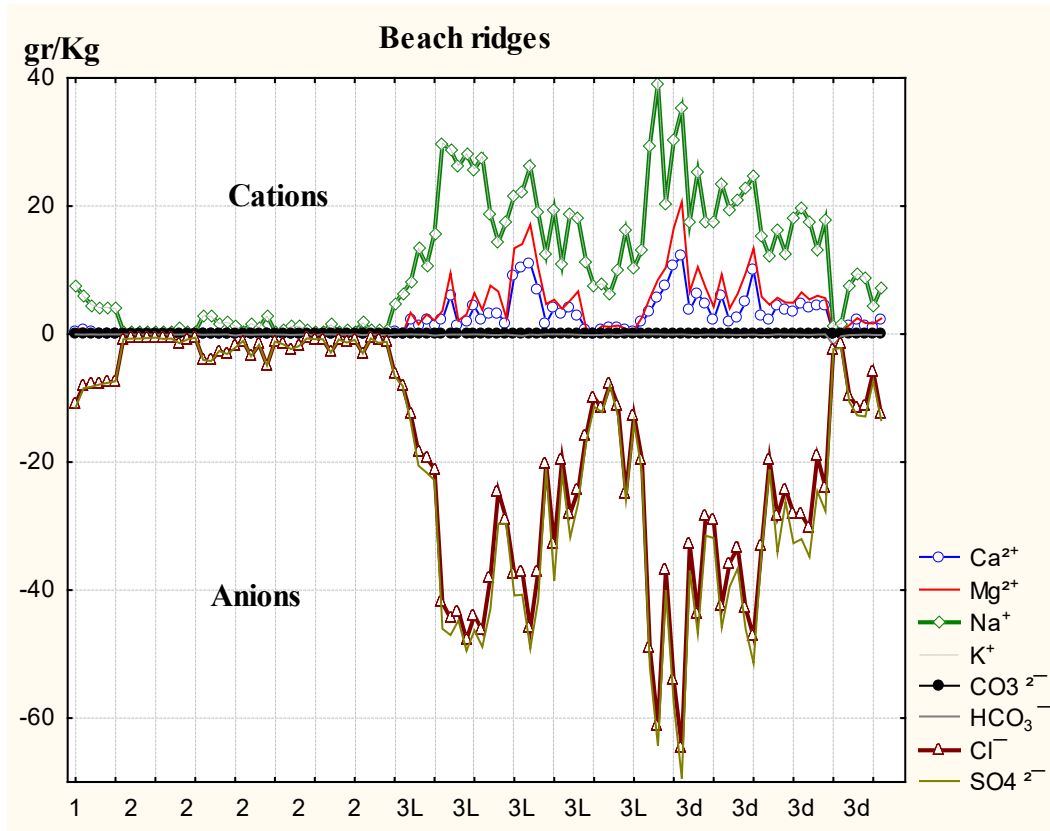


Figura 3. Concentración iónica en g kg^{-1} de geoformas con valores más bajos, playa y dunas costeras (1) y barras altas no inundables (2) y los valores más altos, barra media con inundación estacional (3), loma (3L) y depresión con inundación estacional (3d).

Figure 3. Ionic concentration in g kg^{-1} of geoforms with lower values, beach and coastal dunes (1) and Non flooded high-ridge (2) and the highest values, Intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding (3), most (3L) and Depression intermediate-ridge with rainfall seasonal flooding (3d).

results were found by Chambers *et al.*, (2013), which reported the highest levels of salinity in the geoforms with greater influence of tides (marshlands and brackish water). For national marshlands Bojórquez *et al.*, (2008) reported the highest values of ECe between the range of 12.6 to 42.2 dS/m^{-1} in a sodium Solonchak-type soil of the geoform of plains with flooding by tides, while in parallel ridges, beach and coastal dunes had the lowest values. On the other hand, they differed from Yu *et al.*, (2014), in its study of salinity among the geoforms of the Delta Yellow River in China, since no significant differences were found among the geoforms of the fluvial high plateaus, plains, drainage basin of low lands, tidal plains, marshlands and low plains.

encontrados por Chambers *et al.* (2013), que reportaron los niveles más altos de salinidad en las geoformas con mayor influencia de mareas (marismas y de agua salobre). Para marismas nacionales Bojórquez *et al.* (2008) reportaron los mayores valores de ECe entre el rango 12.6 a 42.2 dS/m^{-1} en un suelo de tipo Solonchaks sódico de la geoforma de llanura de inundación mareal, mientras que, en las barras paralelas, playa y dunas costeras los valores más bajos. Por otra parte, difieren de Yu *et al.* (2014), en su estudio de salinidad entre geoformas del delta del río amarillo en China, dado que no encontraron diferencias significativas entre las geoformas de altiplanicies fluviales, llanura, cuenca de drenaje de tierras bajas, planicies de marea, marismas y llanura baja.

The values of OM found in the different geoforms in the zone of study corresponded to that reported by Chambers *et al.*, (2013) in inter-tidal wetlands from Florida, where the highest values were recorded in geoforms with influence of tidal waters and the lowest ones in the geoform with brackish water; similarly, it coincided with that reported by Valdés *et al.*, (2011) in national marshlands with the highest values of OM and soil organic carbon in the geoforms of islands and islet, followed by the geoform of basins and shores, while in the non-flooded ridges, the contents were lower. Higher values of organic matter than the ones reported by Bojórquez *et al.*, (2006 and 2008) were recorded, with 1.6 % in the plain with tidal flood and 0.52 % in the non-flooded high ridges.

On the other hand, the results of particle size distribution coincided with Roslan *et al.*, (2010) who found that in the crusts and depressions geoforms, percentages of sand and clay were found to be higher than 95 % and lower than 5 %, respectively. Yamnova *et al.*, (2010), mentioned that this type of soils was predominated by sands. In this coastal system, Bojórquez *et al.*, (2008) reported data of an endosal gleyic Solonchaks type soil in the geoform of depression and of arenosols of the non-flooded high ridge, recording the highest content of clay in the depressions and the highest content of sand in the tallest geoforms, which coincided with the results found in this study.

In the geoforms with higher altitude, beach, coastal dunes and non-flooded high ridge, the lowest ionic concentration was found, measured in g kg^{-1} . While in the lowest ones like medium ridge and its inter-ridges with seasonal floods, the highest values were recorded in g kg^{-1} . In all geoforms, the predominating ions were sodium and chlorine, which coincided with that reported by Yamnova *et al.* (2010).

Conclusion

The most elevated values of salinity, organic matter and clay, were recorded in the geoforms with lower altitude because of the influence of tidal floods and rains, while the geoforms with higher altitude like the non-flooded high ridge presented the highest values of sand and the lowest ones of clay, organic matter and salinity. Likewise, the highest ionic concentration occurred in the geoforms with lower altitude (medium ridge, hill and depressions with tidal floods), while the lowest concentration was located in the tallest and sandiest geoforms (non-flooded high ridge).

Los valores de OM encontrados en las diferentes geoformas de la zona en estudio tienen correspondencia con lo reportado por Chambers *et al.* (2013) en humedales intermareales de la Florida, donde los valores más altos se registran en las geoformas con influencia de agua de marea y los más bajos en la geoforma con agua salobre; asimismo coincide con lo reportado por Valdés *et al.* (2011) en marismas nacionales con los valores más altos de OM y carbón orgánico en el suelo en la geoforma de islas e islotes, seguido de la geoforma de cuencas y orillas, mientras que en las barras no inundables los contenidos son menores. Se registraron valores de materia orgánica mayores que los reportados por Bojórquez *et al.* (2006 y 2008), con 1.6 % en la llanura de inundación mareal y 0.52 % en las barras altas no inundables.

Por otra parte, los resultados de distribución del tamaño de partículas, coinciden con Roslan *et al.* (2010) quienes encontraron que en la geoforma crestas y depresiones se encuentran porcentajes de arena mayor al 95 % y de arcilla menor al 5 %. Yamnova *et al.* (2010), por su parte mencionan que este tipo de suelos es predominado por arenas. En este sistema costero, Bojórquez *et al.* (2008) reportaron datos de un suelo tipo Solonchaks gleyico endosólico en la geoforma de depresiones y de Arenosoles de la barra alta no inundable, registra el mayor contenido de arcilla en las depresiones y el mayor contenido de arena en las geoformas de más altura, lo cual coincide con los resultados de este estudio.

En las geoformas de mayor altitud, de playa, dunas costeras y barra alta no inundable se encontró la menor concentración iónica medida en g kg^{-1} . Mientras que en las más bajas como son barra media y sus inter-barras con inundación estacional se registraron los valores más altos en g kg^{-1} . En todas las geoformas los iones que predominan son el sodio y el cloro, lo cual coincide con lo reportado por Yamnova *et al.* (2010).

Conclusión

Los valores más elevados de salinidad, materia orgánica y de arcilla se registran en las geoformas de menor altitud por la influencia de la inundación mareal y fluvial, mientras que en las geoformas de mayor altitud como la barra alta no inundable presentan los valores más altos de arena y los más bajos en arcilla, materia orgánica y salinidad. Asimismo, la mayor concentración iónica ocurre en las geoformas de menor altitud (barra media, loma y depresiones con inundación mareal), mientras la menor concentración está en las geoformas más altas y arenosas (barra alta no inundable).

Acknowledgments

Thanks to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) for the scholarship granted during the process of academic formation. To the academic program of Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias of the Universidad Autónoma de Nayarit.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada durante el proceso de formación. Al programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias (CBAP) de la Universidad Autónoma de Nayarit.

References

- Aburto, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray and E. Sala. (2008). Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 10456-10459. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804601105>
- Amezketá, E. (2006). An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification. *Journal of Arid Environments*. 67: 594–606. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.010>
- Angiolini, C., Landi, M., Pieroni, G., Frignani, F., Finioia, M. G., and Gaggi, C. (2013). Soil chemical features as key predictors of plant community occurrence in a Mediterranean coastal ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119: 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.12.019>
- Bojórquez, I., García, D., Nájera, O., Flores, F., Madueño, A., Bugarín, R., and Hernández, A. (2008). Características de los suelos de las barras paralelas, playas y dunas de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 29: 37–42. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/218/1/CARACTER%20DE%20LOS%20SUELOS%20DE%20LAS%20BARRAS%20PARALELAS%20Y%20PLAYAS%20Y%20DUNAS%20DE%20LA%20LLANURA%20COSTERA%20NORTE%20DEL%20ESTADO%20DE%20NAYARIT%20MEXICO.pdf>
- Bojórquez, I., Hernández, A., García, D., Nájera, O., Flores, F., Madueño, A., and Bugarín, R. (2007). Características de los suelos Cambisoles y Fluvisoles de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 28: 19–24. <http://dspace.uan.mx:8080/handle/123456789/54>
- Bojórquez, I., Nájera, O., Hernández, A., Flores, F., González, A., García, D., and Madueño, A. (2006). Particularidades de formación y principales suelos de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 27: 19–26. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215912003.pdf>
- Chambers, L. G., Osborne, T. Z., and Reddy, K. R. (2013). Effect of salinity-altering pulsing events on soil organic carbon loss along an intertidal wetland gradient: a laboratory experiment. *Biogeochemistry*, 115: 363–383. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-013-9841-5>
- Curry, J.R., & Moore, D.G. (1964). Holocene Regressive Littoral Sand, Costa de Nayarit, México. *Developments in Sedimentology*. 1: 76–82. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70470-9](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70470-9)
- FAO (Food and Agriculture Organization). Land and plant nutrition management service. http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush_2015; [last checked february 2015)].
- Fritz, M., Wetterich, S., Schirrmeyer, L., Meyer, H., Lantuit, H., Preusser, F., and Pollard, W. H. (2012). Eastern Beringia and beyond: late Wisconsinan and Holocene landscape dynamics along the Yukon Coastal Plain, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 319: 28–45. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.12.015>
- González, A., Bojórquez, I., Nájera, O., García, D., Madueño, S., and Flores, F. (2009). Regionalización ecológica de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Investigaciones Geográficas*, 69: 21–32. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200003
- Huckelbridge, K. H., Stacey, M. T., Glenn, E. P., and Dracup, J. A. (2010). An integrated model for evaluating hydrology, hydrodynamics, salinity and vegetation cover in a coastal desert wetland. *Ecological Engineering*, 36: 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.03.001>. (last checked march 2018).
- Lankford, R. R. (1977). Coastal lagoons of Mexico their origin and classification. *En Estuarine Processes: Circulation, Sediments, and Transfer of Material in the Estuarine Processes.*, 2: 182–215. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-751802-2.50022-9>

- Li, J., Pu, L., Zhu, M., Zhang, J., Li, P., Dai, X., and Liu, L. (2014). Evolution of soil properties following reclamation in coastal areas: A review. *Geoderma*, 226: 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.003>
- Manzano, B., Rivera, O. I.; Briones, E. F., and Zamora, T.C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana*, 32: 211–219. <https://www.redalyc.org/html/573/57332063004/>
- Pierik, H. J.; Cohen, K. M., and Stouthamer, E. (2014). Coastal plain dynamics: GIS-solutions to map and catalogue coastal marine architectural elements. *Utrecht University Repository*, 63. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/306795>
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: manual Núm. 60. 6ª (Ed.). Departamento de Agricultura de los EE. UU. Laboratorio de Salinidad. Limusa. México. 172 p.
- Roslan, I., Shamshuddin, J., Fauziah, C. I., and Anuar, A. R. (2010). Occurrence and properties of soils on sandy beach ridges in the Kelantan–Terengganu Plains, Peninsular Malaysia. *Catena*, 83: 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.07.004>
- Salgado, J. A., Palacios, V. O., Galvis, S. A., Gavi. R.F., and Mejía, S.E. (2012). Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 79-95. <https://www.redalyc.org/html/2631/263123192006/>
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM–021–REC–NAT–2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. *Estud. Muestreo Análisis México DF 7*: 85 pp.
- Trejo, L. I., Peralta, M. G., Gómez, F. C., Rodríguez, M., Serrato, M. Á., and Arévalo, Á. E. (2013). Cloruro de sodio sobre biomasa seca y absorción de cationes macronutrientes en cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5: 979-990. https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Gomez-Merino/publication/255719634_Sodium_chloride_on_dry_biomass_and_macronutrient_cations_absorption_in_cempasuchil_Tagetes_erecta_Linn/links/0deec5206f91f278f2000000/Sodium-chloride-on-dry-biomass-and-macronutrient-cations-absorption-in-cempasuchil-Tagetes-erecta-Linn.pdf
- Valdés, V. E., Valdez, J. I., Ordaz, V. M., Gallardo, J. F., Pérez, N. J., and Ayala, S. C. (2011). Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2: 47-58. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322011000600005&script=sci_arttext
- Yamnova, I. A.; Chernousenko, G. I., and Dokuchaev, V. V. (2010). Soil salinity in the southern Pre-Caspian lowland as related to climate peculiarity and anthropogenic effects. Topic I. Identifying systems vulnerable to salinization, including agro-ecosystems (irrigated and rainfed), soils, water bodies, biodiversity and fragile ecosystems and available tools and information systems to assess and monitor the evolution of salinization 7, 9. *Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change (GFSCC2010)*.
- Yu, J., Li, Y., Han, G., Zhou, D., Fu, Y., Guan, B., and Wang, J. (2014). The spatial distribution characteristics of soil salinity in coastal zone of the Yellow River Delta. *Environmental Earth Sciences*, 72: 589-599. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2980-0>
- Zhang, C., Liu, J., Robinson, D., Liu, X., Wang, J., and Tong, L. (2011). Factors influencing farmers' willingness to participate the conversion of cultivated land to wetland program in sanjiang national nature reserve, China. *Environmental Management*, 47: 107-120. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9586-z>