



## Planificación agrícola de suelos afectados por sales a partir de un sistema de información geográfica

Mogollón, José Pastor<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" Departamento de Química y Suelos. Lara, Venezuela.

<sup>2</sup>Fundación Centro de Investigaciones del Estado Para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE). Yaracuy, Venezuela.

<https://orcid.org/0000-0002-0553-4170> [jose.mogollon@ucla.edu.ve](mailto:jose.mogollon@ucla.edu.ve)

ASA/Artículo

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.17465265>

Recibido: 04-12-2024

Aceptado: 20-06-2025

### RESUMEN

El objetivo fue evaluar la salinidad con fines de planificar el uso agrícola de los suelos haciendo uso de un sistema de información geográfica; los indicadores utilizados fueron el pH, conductividad eléctrica (CE), y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Se procesaron 385 muestras de suelo recolectadas en el municipio Falcón, Península de Paraguaná. Se estableció la distribución espacial de las variables utilizando un sistema de información geográfica (SIG), lo cual permitió la elaboración de mapas a escala 1:25.000, a objeto de establecer la magnitud del problema de salinidad en la zona de estudio. Los suelos con problemas de alcalinidad están representados por un área de 899,35 km<sup>2</sup> (51% del territorio). El municipio presenta una superficie de 324,21 km<sup>2</sup> con suelos no salinos, suelos ligeramente salinos con 949,85 km<sup>2</sup>, suelos salinos con 475,64 km<sup>2</sup>, y suelos fuertemente salinos con 14,26 km<sup>2</sup> del territorio. Las áreas con problemas de sodicidad representan un 5,5% de la superficie del municipio, y están fuertemente asociados a suelos bajo uso agrícola bajo riego con aguas de mala calidad. El análisis realizado sobre la potencialidad de los suelos para el establecimiento de los cultivos tradicionales arrojó que los rubros maíz y el sorgo son los cultivos de mayor potencialidad dado su mediana tolerancia a las sales. El cultivo de melón presenta una superficie potencial de 25% de la superficie del municipio. Sin embargo, habría que considerar algunos factores relacionados al manejo, para evitar problemas de degradación química asociados a este tipo de uso de la tierra.

**Palabras Clave:** Salinidad del suelo; sistemas de información geográfica, uso de la tierra.



Esta obra está bajo una licencia de creative commons reconocimiento-No comercial 4.0 internacional. Permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra con fines no comerciales. A cambio, se debe reconocer y citar al autor original. (CC BY-NC-SA 4.0)

## **Agricultural planning of soils affected by salts based on a geographic information system**

### **ABSTRACT**

The objective was to evaluate salinity in order to plan the agricultural use of soils; the indicators used were pH, electrical conductivity (EC), and percentage of exchangeable sodium (PSI). A total of 385 soil samples were collected in the municipality of Falcón, Paraguana Peninsula. The spatial distribution of the variables was established using a geographic information system (GIS), which allowed the elaboration of 1: 25,000 scale maps in order to establish the magnitude of the salinity problem in the study area. The soils with alkalinity problems are represented by an area of 899.35 km<sup>2</sup> (51% of the territory). The municipality has an area of 324.21 km<sup>2</sup> with non-saline soils, slightly saline soils with 949.85 km<sup>2</sup>, saline soils with 475.64 km<sup>2</sup>, and strongly saline soils with 14.26 km<sup>2</sup> of the territory. The areas with sodicity problems represent 5.5% of the municipality's surface, and are strongly associated with soils under agricultural use under irrigation with poor quality water. The analysis carried out on the potential of the soils for the establishment of traditional crops showed that maize and sorghum are the crops with the highest potential due to their medium tolerance to the salts. The cultivation of melon presents a potential area for its cultivation of 25% of the surface of the municipality. However, some factors related to management should be considered in order to avoid problems of chemical degradation associated to this type of land use

**Keywords:** Salinity soil; geographic information systems, land use.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas clásicos de degradación de la tierra que ha tenido que enfrentar el hombre, ha sido el de controlar, prevenir o mejorar los suelos afectados por la salinidad. En las regiones áridas y semiáridas, donde la evaporación es mayor que las precipitaciones, se ubican las regiones más afectadas por sales (Delgado-González *et al.*, 2022). Las sales, tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, proceden de muy diferentes orígenes. En líneas generales, pueden ser de origen natural, a partir de algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias que contienen sales minerales constituyentes; o proceder de contaminaciones antrópicas (Omuto *et al.* 2021).

En otros casos ocurre, que si bien el material original no contiene estas sales, se pueden producir en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madre. Las principales sales con carácter sodificante son: cloruro de sodio (NaCl) sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), y bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>), que a su vez presentan altos valores de solubilidad (Brady y Weil, 2008).

De los planteamientos anteriores se deduce, que aunque la salinización es tratada como uno de los procesos de degradación química del suelo, sus efectos ambientales son mucho más amplios que los de un simple proceso químico que pueda causar la contaminación del suelo.

Al alcanzarse niveles importantes de sales en el suelo, tanto la calidad como la cantidad de las mismas determinan prácticamente todos los atributos principales del suelo: físicos, químicos, biológicos y aun mineralógicos, tal como lo han indicado Torres *et al.* (2006) y Mogollón *et al.* (2010).

Dependiendo de la química de las sales el desarrollo del proceso puede variar, pero siempre resulta en la degradación del suelo y en la disminución de su productividad (Luquez *et al.* 2023). En Venezuela, aparte de la existencia de más de un millón de hectáreas de suelos afectados por salinidad primaria, originada durante los procesos que dieron origen al suelo, se han desarrollado problemas de salinidad secundaria en prácticamente todas las zonas con desarrollo de agricultura de riego (Monasterio *et al.* 2005). Así mismo, desde el punto de vista químico, se señala que la causa principal de la salinización de los suelos explotados se debe al uso irracional del agua de riego con altas concentraciones de sales, por las condiciones de clima árido, semiárido y subhúmedo, textura fina y media de los suelos mal drenados y al manejo inadecuado del riego en los sistemas de cultivo (Fernández *et al.* 2011).

Desde este punto de vista, se ha venido planteando que la sustentabilidad de la agricultura en la Península de Paraguaná, zona árida ubicada al Norte de Venezuela, dependerá

necesariamente del manejo adecuado de los balances de agua y sales, para lo cual es necesario conocer las características de las aguas y los suelos, lo que a su vez permitirá planificar adecuadamente el manejo de los sistemas de producción, a partir de la selección de los cultivos y de las prácticas de manejo y conservación a implementar en función de sus rangos de tolerancia a los niveles de sales en el suelo (Villafañe y Pla, 1994). Este trabajo plantea como objetivo general, evaluar la

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La zona se caracteriza por presentar precipitaciones medias anuales que oscilan entre los 200 mm y 400 mm y evaporaciones medias anuales entre los 2.700 mm y 3.300 mm, condición que la ubica en un clima árido a hiperárido con un marcado déficit hídrico a lo largo del año. Posee un régimen pluviométrico unimodal con un periodo lluvioso que va desde el mes de septiembre al mes de diciembre, con máximas en noviembre (Rivas y Mogollón, 2015a). La vegetación comprende un conjunto de grupos estructurales primarios diferenciados por la forma de vida dominante: arbustal, matorral (árboles de altura inferior a 5m), cardonal, bosque (dominados por árboles de más de 5m) de uno o dos estratos. Particularmente, en el municipio Falcón predominan las comunidades vegetales de

salinidad del suelo a través de algunos parámetros químicos que permitan establecer la distribución espacial de los tipos de suelos por salinidad en el municipio Falcón de la península de Paraguaná. Finalmente, la información generada permitirá la selección de áreas con limitaciones para el desarrollo de la actividad agrícola en base a criterios de tolerancia a la salinidad para algunos cultivos tradicionales en la zona.

cardonales, arbustales y matorrales dominados por las especies *Stenocereus griseus* (Haw.), *Prosopis juliflora* (Sw.) DC, *Castela erecta* (Turpin), *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) y *Croton flavens* (L.) (Mogollón *et al.*, 2016).

Los suelos que predominan en la Península de Paraguaná corresponden a los órdenes Entisoles y Aridisoles, siendo los subórdenes más importantes, Orthents, Orthids, Torriorthents, Camborthids, y Calciorthids (Mogollón *et al.* 2015a). En la Península de Paraguaná se han identificado seis (06) principales tipos de Uso de la Tierra, de las cuales la vegetación natural representó el 76,65 % del área total de la Península, seguida de un 12,36 % que se encontró bajo condición de áreas descubiertas. Las áreas inundables y artificiales ocuparon 4,83 % y 3,20 % del territorio, respectivamente, seguida de las áreas cultivadas con 2,87 % de ocupación (Rivas y Mogollón, 2015b). Con respecto a las áreas

potencialmente cultivables, estas se ubican fundamentalmente en el municipio Falcón, ocupando un total de 619,85 km<sup>2</sup> que corresponde a un 23% del total de la superficie de la Península de Paraguaná. Los cultivos que tradicionalmente se desarrollan en esta zona corresponden a los siguientes: melón (*Cucumis*

*melo* L.); sábila (*Aloe vera* L.); maíz (*Zea mays* L.), generalmente asociado a caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) o yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y en menor proporción, l., patilla (*Citrullus lanatus* L.), cebolla (*Allium cepa* L.) (Fernández *et al.*, 2011).

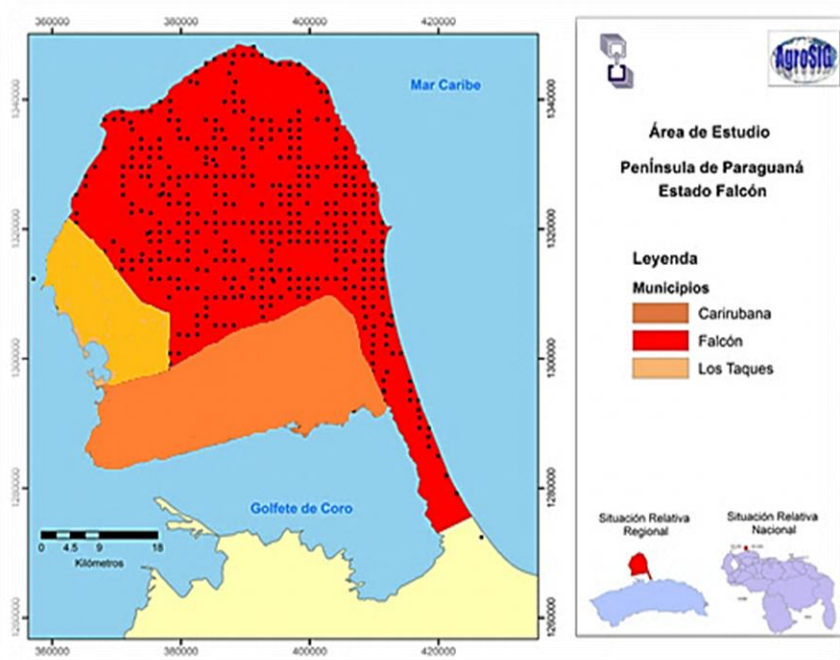


Figura 1. Localización del área de estudio y puntos de muestreo.

**Muestreo de Suelos:** El muestreo fue realizado en todo el municipio Falcón de manera sistemática (a partir de una malla o red), con una intensidad de muestras cada 4 km<sup>2</sup> (Mogollón *et al.* 2015b), para un total aproximado de 350 puntos de muestreo, cubriendo el área total del municipio que son 1.577 km<sup>2</sup> (Figura 1). Esto permitió generar mapas para cada una de las propiedades

relacionadas a la salinidad, así como el mapa de salinidad-sodicidad de los suelos a escala de 1:50.000. Las muestras fueron colectadas a una profundidad de 0-25 cm que corresponde a la capa arable del suelo, y a la zona de las raíces de las plantas y cultivos donde se acumulan las sales solubles (Bless *et al.* 2022).

**Indicadores de salinidad del suelo:** Se evaluó la salinidad del suelo a partir de tres

indicadores: pH del suelo, conductividad eléctrica, determinación de bases cambiables (Ca, Mg, Na y K) que permitieron a su vez la estimación del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), los cuales son los parámetros comúnmente utilizados para estudios sobre la salinidad de suelos agrícolas (Smanov *et al.*, 2023). El pH se determinó usando el método potenciométrico en una relación suelo:agua de 1:2. La conductividad eléctrica se determinó usando el método del conductímetro, en la misma relación suelo:agua de 1:2. Las bases cambiables fueron determinadas mediante extracción con acetato de amonio 1N a pH 7, y posterior determinación de los cationes sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) por fotometría de llama. Los cationes calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) se determinaron en el extracto, por el método complexométrico. Todos los análisis de laboratorio se hicieron por triplicado.

#### **Clasificación de suelos salino-sódicos:**

Una vez determinados los valores de la CE para cada muestra de suelo, y los cationes intercambiables, se procedió a estimar el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), mediante la siguiente fórmula matemática:

$$\text{PSI} = [\text{Na}^+]/\Sigma(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{K}, \text{Na}) * 100.$$

Posteriormente, se realizó la clasificación del tipo de suelo por salinidad y sodicidad a partir de la información presentada por Richards (1954), donde se plantean cuatro clases de suelo: a) suelos no salinos con  $\text{CE} \leq 2 \text{ dS/m}$  y  $\text{PSI} < 15\%$ ; b) suelos salinos con  $\text{CE} > 2 \text{ dS/m}$  y  $\text{PSI} < 15\%$ ; c) suelos sódicos con  $\text{CE} \leq 2 \text{ dS/m}$  y  $\text{PSI} > 15\%$ ; y d) suelos salino-sódicos con  $\text{CE} > 2 \text{ dS/m}$  y  $\text{PSI} > 15\%$ .

#### **Metodología de mapeo**

Con los datos obtenidos se procedió a determinar la distribución espacial de las variables de estudio. Para ello, se utilizó un sistema de información geográfica, en el cual se aplicaron las herramientas de análisis geoestadístico, para realizar interpolación de los puntos utilizando la metodología kriging y así generar capas que muestren la distribución espacial de las variables (Sahbeni y Székely, 2022). Para cada variable experimental, se seleccionó el modelo de mejor ajuste a partir de los resultados de la varianza cruzada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelo de ajuste teórico para las variables conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable y pH.

| Variable | Modelo      | Media residuos* | Error estándar |
|----------|-------------|-----------------|----------------|
| CE       | Exponencial | -0,011          | 2,01           |
| PSI      | Esférico    | 0,0005          | 4,70           |
| pH       | Esférico    | -0,0035         | 0,67           |

\*Error de estimación: valor estimado – valor medido.

**Mapa de limitaciones para la planificación de la actividad agrícola (establecimiento de cultivos).**

Este mapa fue diseñado a partir del mapa de salinidad (mapa de la conductividad eléctrica del suelo). Para ello se utilizaron las herramientas de análisis espacial del Sistema de Información Geográfica. Específicamente las herramientas de consulta, en el cual se dieron instrucciones al programa Esri ArcGIS Pro 3.1 para que delimitara la zona según la tolerancia de los cultivos que tradicionalmente se establecen en la zona (melón, sorgo, sábila), a acumulación de sales en el suelo superficial. Adicionalmente, se identificaron las áreas potenciales para el establecimiento de los rubros tomate, cebolla y maíz, según su tolerancia a la salinidad.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**pH del suelo**

En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes (Schjoerring *et al.* 2019). Se trata de un indicador de las condiciones generales de salinidad del suelo (Suleymanov *et al.* 2023). En la Figura 2 se muestra el mapa del pH para los suelos del municipio Falcón de la Península de Paraguaná.

Los suelos con pH neutro cubren unos 865 km<sup>2</sup> del municipio, correspondiendo a un 49% de la superficie total del mismo. Mientras que los suelos alcalinos cubren aproximadamente 899 km<sup>2</sup>, lo cual se corresponde con un 51% de la superficie. Considerando el pH como un indicador de la salinización del suelo, podría

indicarse que aproximadamente la mitad del territorio no presenta esta problemática asociada a procesos de degradación.

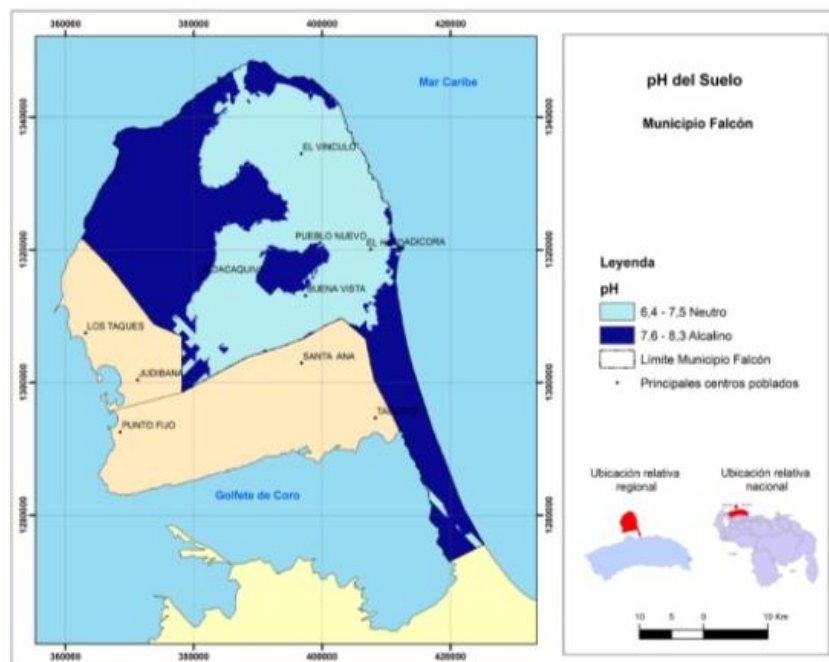


Figura 2. Distribución espacial del pH en los suelos del municipio Falcón de la Península de Paraguaná.

Sin embargo, es importante considerar que una porción de la superficie, específicamente la ubicada en el eje Buena Vista-Pueblo Nuevo-El Vínculo presenta condiciones de alcalinidad lo cual se podría relacionar a las actividades asociadas con el uso agrícola, tales como el monocultivo, uso excesivo de fertilizantes, el riego y sobreexplotación de los acuíferos, lo cual ha sido señalado con anterioridad por Fernández *et al.* (2011), y Mogollón *et al.* (2015b). El uso de fertilizantes inorgánicos, aun cuando es esencial en la agricultura moderna para el logro de un alto rendimiento

de los cultivos, puede convertirse, dependiendo de las cantidades y el sistema de manejo aplicado, en un riesgo de degradación de los suelos y acuíferos. Bajas o moderadas tasas de aplicación de fertilizante causan poco o ningún daño al ambiente ya que los nutrientes son utilizados por las plantas. Sin embargo, cantidades excesivas que superan las necesidades de las plantas contribuyen a la contaminación del suelo por sales (López, 2002).

### Conductividad eléctrica (CE) del suelo



La distribución espacial de la salinidad del suelo se presenta en la Figura 3. Se observa que los suelos no salinos se ubican como una franja en la zona Norte de la Península de Paraguaná, y cubren una superficie aproximada de 324 km<sup>2</sup> que representan un 18% del territorio evaluado.

Cabe mencionar que esta zona posee poca actividad agrícola. Los suelos ligeramente salinos se encuentran ubicados fundamentalmente en la parte central del Municipio Falcón, y ocupan aproximadamente un 54% del territorio (950 km<sup>2</sup>).

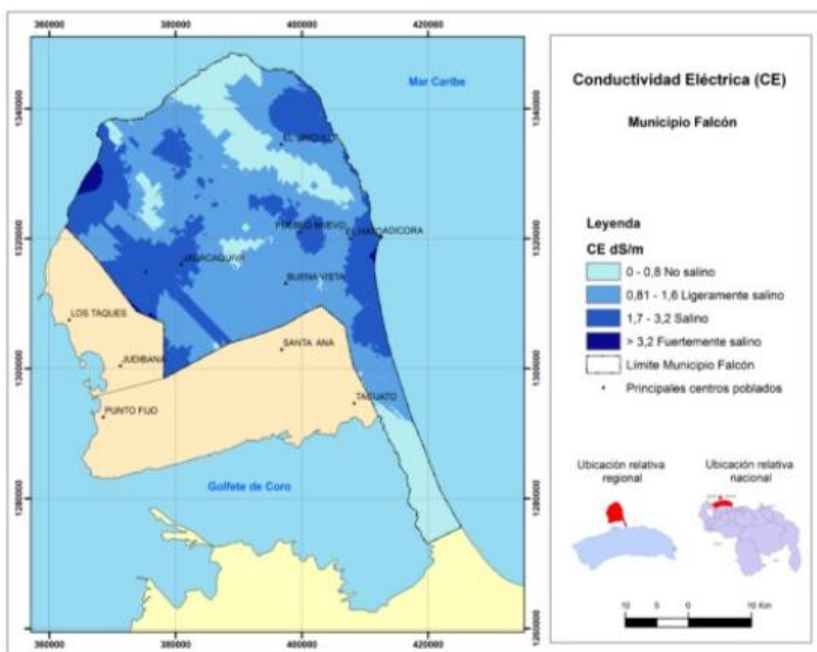


Figura 3. Distribución espacial de la conductividad eléctrica (CE) en los suelos del municipio Falcón de la Península de Paraguaná.

Los suelos salinos presentan dos patrones de distribución bien diferenciados; una parte se ubica hacia la zona costera oriental, por lo cual la salinidad estaría asociada a condiciones naturales por la cercanía a la costa; y otro grupo de suelos se ubica hacia la zona de máxima actividad agrícola que corresponde al sector de Pueblo Nuevo, por lo que la salinidad estaría asociada a la actividad agrícola producto del

manejo de cultivos bajo riego. Los suelos salinos cubren aproximadamente un 27% del territorio que corresponden a unos 476 km<sup>2</sup> de superficie. Finalmente, los suelos fuertemente salinos, cubren aproximadamente 1% de la superficie, y están asociados a las áreas cubiertas por salinas naturales en la Península de Paraguaná.

La salinización del suelo se da normalmente en los suelos desarrollados en condiciones

climáticas en donde la precipitación es menor a la evapotranspiración y asociado a condiciones de mal drenaje (Naorem *et al.* 2023). Rueda (2009) señala que cuando los valores de CE están por encima de 0,8 dS/m para una relación suelo:agua de 1:2, se considera que los suelos comienzan a manifestar problemas asociados con la salinidad.

En la zona semiárida del estado Falcón, se ha observado en los últimos años un proceso de degradación continua de la tierra, debido a la predominancia de sistemas agrícolas inapropiados (Mogollón *et al.* 2017). Adicionalmente, en las condiciones agroclimáticas predominantes en la zona (bajas precipitaciones y alta evapotranspiración) los procesos de degradación de tierras se hacen más intensos y en muchos casos son acelerados por la introducción de sistemas de riego localizado de alta frecuencia, que mantienen la

solución edáfica diluida, permitiendo así obtener altas producciones aunque sin eliminar las sales o el sodio del suelo y llevando así a una salinización oculta a mediano o largo plazo (Zamora *et al.* 2008).

Los rendimientos de los cultivos han permitido que se incremente la actividad agrícola en la Península de Paraguaná en los últimos 15 años. El aumento de la superficie agrícola bajo riego y la escasez del recurso hídrico forzó la adopción de tecnologías de riego más eficientes, tales como la de goteo, pero el agua disponible, además de ser escasa es salina, lo que aumenta los riesgos de afectación de los suelos (Fernández *et al.* 2011).

#### **Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)**

En la Figura 4 se muestra el mapa de PSI elaborado para los suelos del municipio Falcón de la Península de Paraguaná.

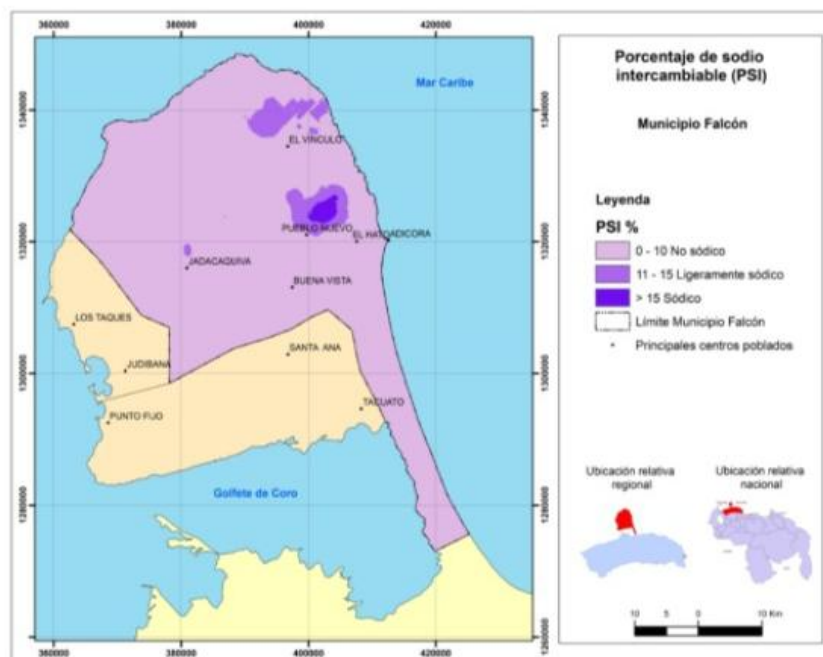


Figura 4. Distribución espacial del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en los suelos del municipio Falcón de la Península de Paraguaná.

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) expresa el porcentaje de  $\text{Na}^+$  respecto a los demás cationes adsorbidos. Se considera que un suelo puede sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el  $\text{PSI} > 15\%$  (Ayers y Westcot, 1994).

Los suelos no sódicos en el municipio Falcón están representados en un 94% del total de la superficie. Los suelos ligeramente sódicos cubren aproximadamente un 5% del territorio, y los suelos sódicos, aproximadamente 1% de la superficie, estando asociados estos últimos a las áreas bajo uso agrícola del sector Pueblo Nuevo.

El problema de sodificación de los suelos podría estar asociado a la utilización de aguas de mala calidad, con altos contenidos de sales sódicas, lo cual ha sido reportado por Chirinos y Mogollón (2017), en un estudio realizado en la Parroquia Pueblo Nuevo del municipio Falcón.

En ese trabajo, se encontró que el clima semiárido, las condiciones de mal drenaje, la topografía de la región, el uso de agroquímicos, la sobreexplotación de los acuíferos, son algunos factores que pueden estar influyendo en el tiempo de residencia de las aguas subterráneas, su composición química y consecuentemente en la calidad de las aguas presentes en el área de estudio.

En un trabajo previo (Chirinos y Mogollón, 2017), se evidenció el descenso de los niveles de agua en los pozos, lo que demuestra la disminución de la recarga del acuífero producto del excesivo bombeo en la zona de estudio. La mayoría de los criterios de evaluación de calidad de agua para riego, utilizados coinciden en que, por su salinidad, el agua tiene restricciones en aproximadamente un 80% de los casos.

La mayor proporción del área municipal la ocupan los suelos salinos con un 81,04 %; y los suelos salino-sódicos ocupan aproximadamente 1% de la superficie. Los suelos afectados por salinidad-sodicidad se ubican fundamentalmente hacia el sector Pueblo Nuevo, por lo que podría inferirse que este tipo de degradación química estaría

fuertemente relacionado al uso predominante de la tierra en esas zonas, con una actividad agrícola altamente intensiva, con uso de fertilizantes químicos, riego con aguas de mala calidad, lo que estaría generando la degradación de estos suelos.

Los suelos sódicos apenas ocupan un 0,08% del territorio, y de igual manera están ubicados hacia las zonas de mayor actividad agrícola. Los suelos salino-sódicos, presentan un exceso de sales solubles principalmente de tipo sódicas. Es importante resaltar, que desde el punto de vista agrícola presentan un problema que requiere de medidas especiales y prácticas de manejo adecuadas, ya que en los suelos salino-sódicos se altera la productividad de los cultivos, deprimiéndose significativamente (Goykovic y Saavedra, 2007).

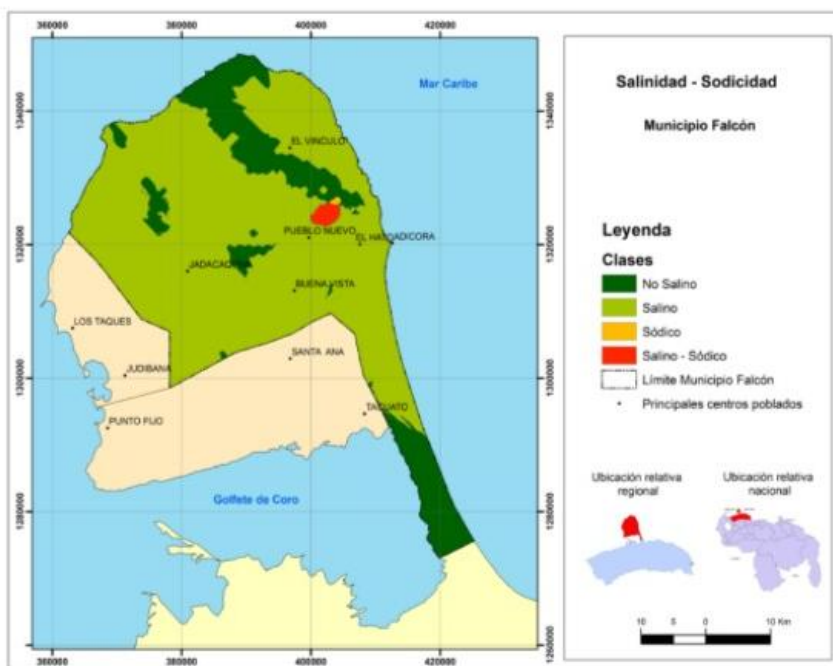


Figura 5. Clasificación de salinidad-sodicidad de los suelos del municipio Falcón de la Península de Paraguaná.

La mayor parte de los suelos ubicados en el municipio Falcón son salinos, lo cual está fuertemente asociado a las condiciones climáticas de la zona y/o a la actividad antrópica. En estos suelos pueden predominar dos tipos de cationes en el complejo de cambio, el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) o el sodio ( $\text{Na}^+$ ). Si el catión predominante es el  $\text{Ca}^{2+}$ , y las sales solubles son muy abundantes en el suelo, es probable que el perfil se encuentre muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable, como resultado de la acción flocculante del  $\text{Ca}^{2+}$ , por lo que la alta presión osmótica de la solución del suelo es la responsable de la baja productividad.

A estos suelos se les denomina suelos salinos, y están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas (IUSS, 2007). Sin embargo, cuando el  $\text{Na}^+$  es el catión dominante se produce la dispersión de las arcillas, lo que lleva a una destrucción de la estructura. Además de que la hidrólisis de las arcillas sódicas, conduce a la alcalinización del perfil, y estas provocan una intensa alteración mineral, reflejándose en un perfil bien diferenciado desde el punto de vista morfológico (Fernández-Mata *et al.* 2014).

### **Selección de áreas para el desarrollo de la actividad agrícola en base a criterios de tolerancia a la salinidad**

La salinidad afecta a la humanidad desde el inicio de la agricultura, siendo la actividad agrícola una de las principales causas de este tipo de degradación química del suelo. La actividad antrópica ha incrementado la extensión de áreas salinizadas al ampliarse las zonas de regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han provocado cambios en la composición de sales en el suelo (Leidi y Pardo, 2002).

La mayoría de las plantas de importancia agrícola son sensibles a la salinidad, y su producción se ve significativamente reducida cuando se cultivan en suelos salinos (Casierra y Rodríguez, 2006). Sin embargo, existen algunas especies cultivables que presentan mecanismos asociados a la tolerancia de sales en el suelo. Se define la tolerancia a la salinidad como la capacidad que tiene el cultivo para soportar la salinidad del suelo sin experimentar efectos perjudiciales en su desarrollo y/o producción.

De tal manera, que las plantas desarrollan diversas estrategias para ser más tolerantes a la salinidad. Por ejemplo, restringiendo la extracción de sales y ajustando la presión osmótica a través de la síntesis de sales

compatibles como la prolina, la glicina-betaína, y otros azúcares (Ashraf *et al.* 2008). Otra estrategia seguida por las plantas es la acumulación de las sales en las vacuolas celulares, controlando de esta forma la concentración de sales en el citosol y manteniendo en las células una relación  $K^+/Na^+$  alta (Cochrane y Cochrane, 2005).

En la Península de Paraguaná se vienen desarrollando sistemas de producción agrícola

utilizando para ello diversas especies con mecanismos diferentes de tolerancia a las sales en el suelo. En base a una revisión bibliográfica se elaboró un cuadro referencial (Cuadro 2), tomando en cuenta los rubros más representativos establecidos en el municipio Falcón, y su nivel de sensibilidad y/o tolerancia a las sales.

Cuadro 2. Tolerancia de algunos rubros tradicionales de la zona a la salinidad del suelo.

| Cultivo.     | CE (extracto de saturación) | CE (relación suelo:agua, 1:2)* | Tolerancia             | Referencia                    |
|--------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Cebolla      | 1,2 dS/m                    | 0,48 dS/m                      | Sensible               | García, 2012                  |
| Melón        | 2,2 dS/m                    | 0,88 dS/m                      | Medianamente sensible  | Soto <i>et al.</i> 1995       |
| Tomate       | 2,5 dS/m                    | 1 dS/m                         | Medianamente sensible  | Chinnusamy <i>et al.</i> 2005 |
| Maíz y sorgo | 7 dS/m                      | 2,8 dS/m                       | Moderadamente sensible | Santiago, 2019                |
| Sábila       | 10 dS/m                     | 4 dS/m                         | Tolerante              | García <i>et al.</i> 2014     |

\* Valor de CE (1:2) a partir del cual se reduce significativamente el rendimiento del cultivo.

En función de la información presentada en el Cuadro 2, se procedió a generar un mapa (Figura 6) que refleja las áreas potenciales para el desarrollo de los cultivos tradicionales en la zona, considerando la salinidad del suelo (CE) como el principal restrictor para el establecimiento de los mismos, y la tolerancia de estos cultivos a la salinidad presente en el

suelo, con el fin de obtener los máximos rendimientos.

La cebolla (*Allium cepa*), es uno de los rubros agrícolas de cierta importancia en la Península de Paraguaná. Sin embargo, este cultivo ha sido clasificado como muy sensible a las sales. Se considera que la cebolla muestra un comportamiento sensible ante la salinidad,

dado que se ha estimado como umbral de tolerancia a las sales aproximadamente  $0,48 \text{ dS m}^{-1}$ , es decir que con valores superiores a esta CE, el cultivo presenta una reducción en el rendimiento de 16% respecto al obtenido en condiciones no salinas (García, 2012). En este sentido, este cultivo se podría establecer en aproximadamente un 5% del territorio.

Otro de los cultivos emblemáticos en la zona de estudio es el melón (*Cucumis melo*), el cual es una planta de tolerancia moderada a la salinidad tanto del suelo (CE de  $0,88 \text{ dS m}^{-1}$ ) como del agua de riego (CE de  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Es importante destacar que cada incremento en una unidad sobre la conductividad del suelo dada, supone una reducción de 7,5% de la producción (Soto *et al.* 1995).

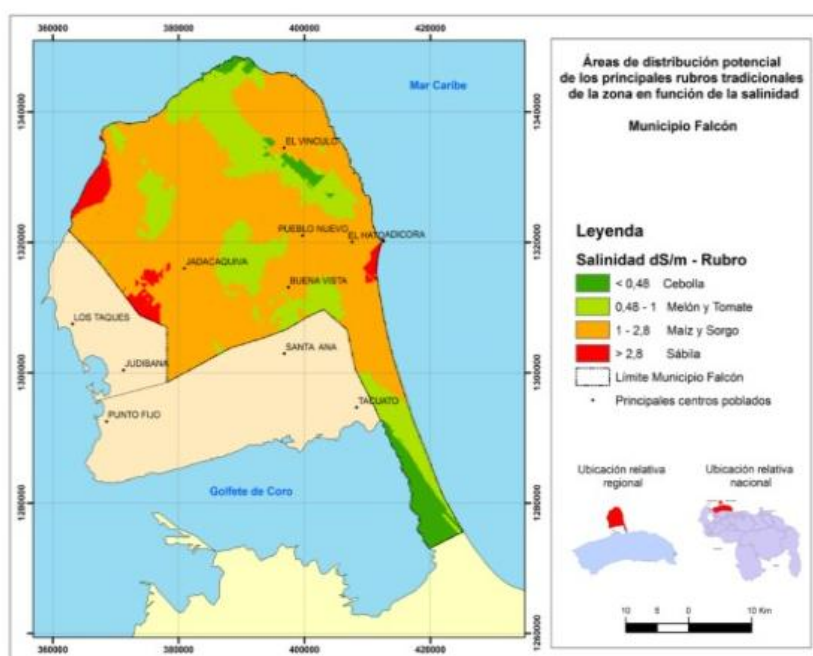


Figura 6. Distribución potencial de los principales cultivos del municipio Falcón de la Península de Paraguaná en función de la tolerancia a la salinidad.

Para el caso del tomate (*Lycopersicum esculentum*), cuando se cultiva en suelos salinos no se encuentra ajeno a una disminución de los rendimientos, puesto que es medianamente sensible a las sales, y presenta un umbral respecto al contenido total de sales, cuantificadas en una relación 1:2 y expresadas como conductividad eléctrica (CE) de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$

<sup>1</sup> (Chinnusamy *et al.* 2005). Las áreas óptimas para el establecimiento de estos dos rubros agrícolas representan aproximadamente un 25% del territorio del municipio Falcón.

El maíz (*Zea mays*) tolera salinidad, siempre que ésta no sea mayor que  $7 \text{ dS m}^{-1}$ , por lo cual el cultivo se considera como moderadamente sensible a la salinidad. La disminución del

rendimiento como consecuencia del aumento de la salinidad del suelo es la siguiente: 0% para una conductividad eléctrica de  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ ; 10% para  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ , 25% para  $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ ; 50% para  $5,9 \text{ dS m}^{-1}$  y 100% para  $10 \text{ dS m}^{-1}$  (Benacchio, 1982).

El sorgo (*Sorghum bicolor*) se considera un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad del suelo, y la disminución del rendimiento debida a la salinidad del suelo bajo riego, es: 0% para una CE de  $4 \text{ dS/m}$ ; 10% para  $5,1 \text{ dS/m}$ ; 25% para  $7,2 \text{ dS/m}$ ; 50% para  $11 \text{ dS/m}$  y 100% para  $18 \text{ dS/m}$  (Benacchio, 1982). La superficie de siembra potencial para maíz y sorgo en el municipio Falcón está representada por un 67% del territorio, lo cual equivale a unos  $1.187 \text{ Km}^2$ , es decir, unas 118.700 hectáreas.

La sábila (*Aloe vera*) es una planta que presenta una buena tolerancia a la salinidad. Para que exista un problema de afectación de los rendimientos de este cultivo, el suelo debería tener una cantidad de sales solubles que se sitúe entre  $8 \text{ y } 10 \text{ dS m}^{-1}$  (García *et al.* 2014). Los suelos con mayores problemas de salinidad en el municipio Falcón, catalogados como fuertemente salinos, y muy marginales para el desarrollo de la actividad agrícola vegetal, están representados por unos  $56 \text{ km}^2$  (5.600 Has), lo que corresponde a un 3,16% del territorio. Estos serían los suelos idóneos para el cultivo de sábila bajo las condiciones de

bajos insumos que se practica en la Península de Paraguaná.

La tolerancia a la salinidad por parte de un cultivo, puede ser valorada de acuerdo a tres criterios: la habilidad de la planta a sobrevivir en suelos salinos, el rendimiento del cultivo en estos suelos y el rendimiento relativo del cultivo en un suelo salino en comparación con aquel en un suelo no-salino, bajo similares condiciones de cultivo. Comúnmente, los estudios realizados se basan en el primer criterio, aunque se considera que su valor es limitado en la agricultura bajo riego. El segundo criterio es, quizás, el de mayor valor agronómico; mientras el tercero, se usa frecuentemente como base de comparación entre diversos cultivos (Villafañe, 2000).

Los resultados encontrados en este estudio, permitirían el desarrollo y planificación de una agricultura eficiente en la Península de Paraguaná, a partir del establecimiento de los principales rubros agrícolas tradicionales en el área de influencia del Municipio Falcón, en función de los niveles de sales presentes en el suelo, y de la tolerancia a las sales de los cultivos, propiciando el desarrollo exitoso de los mismos.



## CONCLUSIONES

El análisis realizado sobre la potencialidad de los suelos para el establecimiento de los cultivos tradicionales en función de su tolerancia a las sales, arrojó que los rubros maíz y el sorgo son los cultivos de mayor potencialidad dado su mediana tolerancia a las sales en el suelo, lo cual está representado por un 67% del territorio.

Un cultivo de gran tradición en la zona como el melón, presenta una superficie potencial de siembra de aproximadamente 25% de la superficie del municipio. Sin embargo, habría que considerar algunos factores relacionados al manejo (fertilización, calidad del agua de riego) para evitar problemas de degradación química asociados a este tipo de uso de la tierra. La información generada en este estudio debe ser accesible a los diferentes entes del Estado en materia de planificación agrícola y ambiental, a fin de que se evalúe la situación actual del recurso suelo y agua, y la misma pueda ser considerada en los procesos de control y supervisión del uso de la tierra, para evitar procesos de degradación y desertificación de las zonas secas de la Península de Paraguaná.

## REFERENCIAS

Ashraf M, Athar H, Harris P, Kwon, T. (2008). Some prospective for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*. 97:45-110.

[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00002-8)

Ayers RS, Westcot DW. (1994) Water quality for agriculture: FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Revision. 1. pp. 1-130.

Benacchio, S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. Ediciones del FONAIAP-CENIAP. Maracay, Venezuela. 202 p.

Bless AE, Colin F, Crabit A, Follain S. (2022). Soil Aggregate Stability in Salt-Affected Vineyards: Depth-Wise Variability Analysis. *Land*. 11 (4):541. <https://doi.org/10.3390/land11040541>

Brady N, Weil R. (2008). The nature and properties of soils. 14th edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 881 p.

Casierra F, Rodríguez R. (2006). Tolerancia de plantas de feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret) a la salinidad por NaCl. *Agronomía Colombiana* 24 (2): 258-265

Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu J. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*. 45 (2): 437-448. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0437>

Chirinos J, Mogollón JP. (2017). Evaluación de la calidad del agua subterránea empleada para riego. Parroquia Pueblo Nuevo, municipio Falcón, Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. En: V. Inciarte (Ed). *Gestión del agua en Latinoamérica “Una visión multidisciplinaria”*. Editorial Inver-E- Group Venezuela, C.A. Maracaibo, Venezuela. p. 85-122.

Cochrane TT, Cochrane TA. (2005). Osmotic potential properties of solutes common in the soil- plant solution continuum. *Soil Science*. 170 (6):433-444. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000169916.55850.f3>

Delgado-González C, Rodríguez-Laguna R, Capulín-Grande J, Madariaga-Navarrete A, Islas-Pelcastre, M. (2022). Caracterización físicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chicavasco, estado de Hidalgo,

- México. South Florida Journal of Development. 3(1):335-344.  
<https://doi.org/10.46932/sfjdv3n1-026>
- Fernández A, Villafañe R, Hernández R. (2011). Calidad del agua de riego y afectación de los suelos por sales en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 61 (3-4):253-265.
- Mata-Fernández I, Rodríguez-Gamiño M, López-Blanco J, Vela-Correa G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital E-Bios*. 5 (1):26-35.
- García M, Franco-Salazar V, Véliz J. (2014). Crecimiento y contenido iónico de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Sábila) bajo diferentes concentraciones de NaCl. *SABER*. 26 (4):385-394.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>
- International Union of Soil Sciences (IUSS) (2007). Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización. Informes sobre recursos mundiales de suelos. No. 103. FAO, Roma. Italia.  
<http://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.pdf>
- Leidi E, Pardo J. (2002). Tolerancia de los cultivos al estrés salino: Qué hay de nuevo. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 2 (2):1-12.
- López R. (2002). Degradación del suelo. Causas, procesos evaluación e investigación. Ediciones de la Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 280 p.
- Luquez J, Eyherabide G, Petigrosso LR. (2023). Tolerancia a la salinidad del suelo en especies de interés agronómico. Importancia de su estudio en el contexto del cambio climático. *Nexos*, 34:12-19.
- Mogollón JP, Rivas W, Alvizu P, Márquez E, Colmenares M, Lemus L, Hernández S, Martínez A. (2016). Calidad de la Vegetación como Indicador de Desertificación en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Ágora de Heterodoxia*. 2 (2): 72-97.
- Mogollón JP, Rivas W, Márquez E, Lemus L, Colmenares M, Muñoz B, Martínez A, Hernández S, Arrieta L, Campos Y. (2015a). Delimitación de áreas ambientalmente sensibles a la desertificación en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Croizatia*. 16 (1&2): 51-73.
- Mogollón JP, Rivas W, Muñoz B, Martínez A, Márquez E, Arrieta L, Lemus L, Colmenares M, Campos Y, Hernández S. (2015b). Calidad del Suelo como Indicador de Desertificación en la Península de Paraguaná, Estado Falcón, Venezuela. *Croizatia*. 16 (1&2): 7-24.
- Mogollón JP, Rivas W, Rivas JG, Martínez A. (2017). Procesos de degradación de suelos asociados a la desertificación en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Ágora de Heterodoxias*, 3(2): 94-110.
- Mogollón JP, Torres, D, Martínez A. (2010). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*. 22 (3): 217-222.
- Monasterio P, Rodríguez, L, Tablante J. (2005). Salinidad en suelos cultivados con caña de azúcar en Venezuela. *Revista. Caña de Azúcar*, 23 (1 y 2): 16-28.
- Naorem A, Jayaraman S, Dang YP, Dalal RC, Sinha NK, Rao CS, Patra AK. (2023). Soil Constraints in an Arid Environment-Challenges, Prospects, and Implications. *Agronomy* 13, 220.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy13010220>
- Omuto C, Vargas R, El Mobarak AM, Mohamed N, Viatkin K, Yigini Y. (2021). Mapeo de suelos afectados por salinidad. Manual técnico. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9215es>
- Richards L. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*. 78(2):154
- Rivas W, Mogollón JP. (2015a). Calidad del clima como indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, Estado Falcón, Venezuela. *Croizatia*. 16 (1&2): 25-35.
- Rivas W, Mogollón JP. (2015b). Calidad de gestión como indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, Estado Falcón, Venezuela. *Croizatia*. 16 (1&2): 37-50.

- Rueda E. (2009). La salinidad: ¿Un problema o una opción para la agricultura. Ediciones de la Universidad de Sonora. Sonora, México. 262 p.
- Sahbeni G, Székely B. (2022). Spatial modeling of soil salinity using kriging interpolation techniques: A study case in the Great Hungarian Plain. Eurasian Journal of Soil Science. 11(2):102-112. <https://doi.org/10.18393/ejss.1013432>
- Santiago, M. (2019). Tolerancia a salinidad de maíz y sorgo forrajeros en etapa de germinación. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente. En Zonas áridas, Universidad Autónoma de Chapingo, Bermejillo, México. 70 p.
- Smanov Z, Laiskhanov S, Poshanov M, Abikyevev Y, Duisekov S, Tulegenov Y. (2023). Mapping of Cornfield Soil Salinity in Arid and Semi-Arid Regions. Journal of Ecological Engineering, 24(1), 146-158. <https://doi.org/10.12911/22998993/155952>
- Soto E, Rondón A, Arnal E, Quijada O, Camacho A, Fidel R. (1995). Evaluación de cultivares de melón con fines de exportación. Fonaia Divulga. 12 (50):19-23.
- Suleymanov A, Gabbasova I, Komissarov M, Suleymanov M, Garipov T, Tuktarova I, Belan L. (2023). Random Forest Modeling of Soil Properties in Saline Semi-Arid Areas. Agriculture (13):976. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050976>
- Schjoerring JK, Cakmak I, White PJ. (2019). Plant nutrition and soil fertility: synergies for acquiring global green growth and sustainable development. Plant and Soil 434(1/2):1-6. <https://www.jstor.org/stable/48703628>
- Torres D, Rodríguez, N, Yendis H, Florentino A, Zamora F. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. Bioagro. 18(2):123-128.
- Villafañe R. (2000). Calificación de los suelos por sales y dispersión por sodio y su aplicación en la evaluación de tierras. Agronomía Tropical. 50 (4):645-658.
- Villafañe R, Pla I. (1994). Efecto del riego y la lluvia sobre el desplazamiento vertical de sales en un suelo arcilloso de Venezuela. Agronomía Tropical. 44 (4):707-729.
- Zamora FR, Torres D, Rodríguez N, Zamora FJ. (2008). Dinámica de las sales en un suelo sembrado con melón (*Cucumis melo*) bajo riego por goteo en la Península de Paraguaná estado Falcón. Multiciencias. 8 (extraordinario):27-32.