

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

TRABAJO DE DIPLOMA

Tema: Estimación de la distribución espacial del nivel de salinidad en agua de riego y suelos en fincas de la CCSF "Juan Manuel Romero García" del municipio Calixto García.

Especialidad: Ingeniería Agrónoma.

Autor: Iris Esmeralda Hechavarria Pérez.

Tutor: Ing. Nelvis Almaguer Pérez.

Curso: 2016-2017

“Año de la Revolución”

Pensamiento

“Solo quien se vence a sí mismo, es fuerte”.

José Martí.

Dedicatoria

A mi madre por exigir de mí siempre lo mejor y guiarme en los caminos de la vida.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A mis profesores, que a lo largo de estos 5 años me han formado como un profesional integral.

A todos gracias.

Agradecimientos

Es imposible dejar de mencionar a mi madre que tanto me ha apoyado en este período.

A todas aquellas personas que han colaborado para que este sueño se convierta en realidad: mi tutor, pareja, amigos y profesores.

A los agricultores de la CCS "Juan Manuel Romero", que colaboraron noblemente para el desarrollo de esta investigación y brindaron su espacio y su tiempo, en especial a Juan Carlos Mora, Lázaro, Róger, Andy Vásquez y a Róger Peña, su presidente.

Resumen

El presente trabajo se desarrolló en la CCSF "Juan Manuel Romero García", ubicada en Irene, municipio Calixto García de la provincia Holguín, durante los meses de octubre de 2016 a marzo de 2017. La selección de 14 fincas se hizo mediante el muestreo no probabilístico y la participación de los cooperativistas en el diseño de investigación. El objetivo fue estimar la distribución espacial de la salinidad en agua de riego y suelo a la profundidad de 20 cm. Los indicadores determinados en agua y suelo fueron conductividad eléctrica y pH, también se determinó la presencia de carbonato de calcio en el suelo. Con la ayuda del sistema de GPS y el software SD Locus – Maps se georeferenció cada sitio de muestreo. Los mapas se elaboraron con MapInfo Professional® 10.5 permitiendo relacionar variables de interés a la salinidad a partir del Mapa Clasificación de Suelo. Segunda clasificación de suelos de Cuba 1:25000 y la ubicación espacial de las fincas. Las fuentes de agua de riego en su mayoría, de acuerdo a la conductividad eléctrica se clasificaron como agua de fuertes restricciones para su uso, con pH de ligeramente alcalino - alcalino, siendo inadecuadas para el riego. Los valores de conductividad eléctrica del suelo en el extracto de saturación permitieron catalogar los suelos como no salinos, con un pH de moderadamente alcalino - alcalino. Los Itabos, la parte norte de Irene y al sur de Villa Magalis, fueron las zona más afectadas por altas concentración de carbonato, poniendo de manifiesto la presencia de suelos calcáreos.

Abstract

The present work was developed in the CCSF "Juan Manuel Romero Garcia", located at Irene, Calixto Garcia municipality, Holguín province, during the months from October 2016 to March 2017. The selection of 14 farmsteads was made through not probabilistic sampling and the participation of the cooperative members in the design of investigation. The objective was to estimate the space distribution of the salinity in water of irrigation and soil to the 20 cm of the depth. The determined indicators in water and soil were electrical conductivity and pH, also the presence of carbonate of calcium was determined in the soil. It is used GPS and the software SD Locus – Maps to georeference each place of sampling. The maps were elaborated with MapInfo Professional® 10.5 themselves allowing to relate variables of concern to the salinity as from Ground Classification Map. Second Classification of grounds in Cuba 1:25000, and the space position of the farmsteads. The majority of water sources of irrigation, according to the electrical conductivity they classified like water of heavy restrictions for his use, with pH of lightly alkaline - alkaline, being inadequate for irrigation. The values of soil electrical conductivity in the saturation extract allowed cataloguing the soil like no saline, with a pH of moderately alkaline - alkaline. Los Itabos, the Irene north part and Villa Magalis south, they were the most affected zone by highs concentration of carbonate, expressing in definite terms the presence of calcareous soil.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I. Salinidad en suelo y agua de riego	3
1.1 Estimación de la distribución espacial de la salinidad	3
1.2 Salinidad en el suelo. Definición	3
1.3 Clasificación de los suelos afectados por sales.....	4
1.4 Distribución de la salinidad en Cuba.....	6
1.5 Origen de la salinidad en los suelos	8
1.6 Salinidad y sodicidad en el agua. Generalidades y criterios de evaluación .	11
1.7 Clasificación de las aguas de riego	14
Capítulo II. Patrones para medir la cantidad y tipo de sales presentes en agua y solución del suelo.....	15
2.1 Condiciones salinas. Conductividad eléctrica (CE).....	16
2.2 Condiciones Sódicas. pH.....	17
2.3 Presencia de Carbonatos en el suelo	21
Materiales y Métodos	27
Resultados y discusión.....	34
Análisis económico.....	45
Conclusiones.....	47
Recomendaciones.....	48
Bibliografías.....	49
Anexos	i
Lista de abreviaturas, siglas y símbolos	iv

Índice de Figuras

Figura 1. Promedio de precipitaciones acaecidas en el período 2005 a 2014, pluviómetro Estación agro meteorológica "La Jíquima".	28
Figura 2. Promedio de temperaturas de los años 2000 a 2014, Estación Agro meteorológica de "La Jíquima".	28
Figura 3. Tipo de suelo de las fincas muestreadas.	29
Figura 4. Ubicación de las fuentes de abasto y las fincas de los productores.	31
Figura 5. Conductividad eléctrica dS.m^{-1} de las fuentes de abasto de agua en las fincas estudiadas.....	34
Figura 6. pH de las fuentes de abasto de agua en las fincas estudiadas.....	36
Figura 7. Distribución espacial del carbonato de calcio en las zonas de estudio. .	37
Figura 8. Comportamiento de la saturación de las bases en los suelos de la zona de estudio.....	38
Figura 9. Material de origen de los suelos en las fincas seleccionadas.	38
Figura 10. Distribución espacial del pH en el extracto de saturación de suelo.....	40
Figura 11. Distribución espacial de la Conductividad Eléctrica (dS.m^{-1}) del suelo en el extracto de saturación	41
Figura 12. Distribución espacial del tipo de arcillas presentes en las zonas de estudio.....	42
Figura 13. Medidas de manejo en suelo y agua para incrementar los rendimientos en las zonas afectadas por salinidad	45

Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis económico, ejemplo del cultivo tomate.	46
Tabla 2. Grado de salinidad de acuerdo al rango de CE de una solución determinada.	i
Tabla 3. Calificación del pH en suelo para dos métodos de determinación.	i
Tabla 4. Sales con incidencia en el estrés salino.	ii
Tabla 5. Análisis Cualitativo de Carbonatos de Calcio con HCl 10 %.	iii

Introducción

El suelo y el agua que todos hemos visto, pero pocos conocemos, son factores determinantes en la calidad y cantidad de las cosechas. Sin embargo, estos recursos naturales modifican sus propiedades físicas, químicas y biológicas, reduciendo o aumentando su potencial productivo. Por ello, uno de los procesos esenciales que contribuyen directamente a la desertificación, es la salinización de suelos y aguas, que ocurre en el 50 % de la superficie de las regiones áridas y semiáridas del mundo. (Fernández y Sánchez, 2011).

Actualmente a nivel mundial, según Wicke *et al.* (2011) la extensión de suelos afectados por salinización, ya sean salinos o sódicos, de origen natural y/o inducida por el hombre, es de unos 1128 000 000 ha. De ellas el 60 % corresponde a suelos salinos, el 26 % a suelos sódicos y el 14 % restante son salino-sódicos. Dentro de los salinos, la mayoría de los suelos están ligeramente afectados 65 %, el 20 % están moderadamente afectados, el 10 % están fuertemente afectados y el 5 % son muy salinos.

En Cuba, en los últimos años, se han desarrollado estudios sobre los efectos adversos de los procesos de salinización de los suelos y el agua de riego. Este fenómeno se evidencia en más de 1 000 000 ha afectadas. De ellas, no menos de 300 ha, se han dañado por el riego con aguas salinizadas y se estima que hay alrededor de 1000 000 ha más en peligro de salinizarse, es decir, más del 15 % del área agrícola (Lamz-Piedra y González-Ceperoll, 2013), lo que representa pérdidas en el orden de 1000 000 000 de pesos en 10 ó 20 años, cifra que supera los costos actuales para su protección (Mesa, 2003).

Este estudio fue motivado por la demanda de la Junta Directiva de la CCSF Juan Manuel Romero García del municipio Calixto García, ante el desconocimiento de la existencia de salinidad en sus fincas, debido a que el municipio por estudios anteriores según Jaramillo (2002) enfrenta problemas de este tipo en algunas de sus zonas. Por este motivo se propone como objetivo: **estimar la distribución espacial de la salinidad en agua de riego y suelo en fincas de la CCSF Juan Manuel Romero.**

Problema científico

Se desconocen indicadores que permitan estimar la distribución espacial de la salinidad del agua de riego y el suelo en fincas de la CCSF Juan Manuel Romero del municipio Calixto García.

Hipótesis

Si se conocen, los indicadores que permiten estimar la distribución espacial de la salinidad del agua de riego y el suelo en fincas de la CCSF Juan Manuel Romero, se podrá implementar un plan de acción.

Objetivo general

Estimar la distribución espacial de la salinidad en agua de riego y suelo en fincas de la CCSF Juan Manuel Romero.

Objetivos específicos

1. Estimar indicadores en suelo y agua de riego relacionados con la salinidad en fincas de la CCSF Juan Manuel Romero.
2. Relacionar la distribución espacial de las fincas con variables de interés a la salinidad, a partir del Mapa de Clasificación de Suelo. Segunda clasificación de suelos de Cuba 1:25000.

Capitulo I. Salinidad en suelo y agua de riego

1.1 Estimación de la distribución espacial de la salinidad

Algunos atributos físico-químicos del suelo y el agua no pueden ser medidos intensivamente de forma rápida, sencilla o a bajo costo, por lo que se recomienda el uso de herramienta matemáticas para hacer frente a esta situación y poder realizar estimación y predicción espacial de variables de interés agrícolas o ambientales, para contribuir con la agricultura de precisión (PROCISUR, 2014).

La mayoría de los productores, consideran las áreas cultivables como uniforme, pero las propiedades del suelo y el agua son variables en el espacio y en el tiempo. Debido a la alta heterogeneidad, se necesita conocer la distribución espacial de una o varias características, lo cual, se puede realizar con muestreos de campo y procedimientos de interpolación geográfica, para generar imágenes o mapas temáticos (Best y Zamora, 2008).

En este sentido, el uso de métodos geofísicos para el conocimiento espacial de la salinidad en áreas cultivables, es cada vez más necesario para determinar patrones de variabilidad espacial en las propiedades del suelo y el agua, realizando una evaluación más precisa que permita vislumbrar la magnitud del fenómeno, dadas las implicaciones socioeconómicas y productivas que este representa al disminuir la producción agrícola.

1.2 Salinidad en el suelo. Definición

Es importante saber diferenciar un suelo considerado no salino y uno con problemas de sales.

Suelos no salinos

Los suelos no salinos, no sódicos son aquellos que no presentan problemas para las plantas por concentraciones salinas. Se identifican cuando el valor de las conductividades eléctricas en el extracto de suelo en saturación (CEe) es menor de

4 dS.m⁻¹, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menor de 15 % y el pH >6.5 y <7.5 (Maiola, 2012).

Suelos con problemas de sales

Al disminuir las lluvias, en los sectores planos y deprimidos, los suelos se van secando por infiltración y evapotranspiración. Es entonces cuando comienza a generarse el proceso de salinización, un ejemplo de degradación de los suelos que no es más, que la presencia de una elevada concentración de sales que perjudican a las plantas por su efecto tóxico y la disminución del potencial osmótico del suelo.

Desde el punto de vista taxonómico, la división tradicional entre suelos salinos y no salinos ha sido de 4 dS.m⁻¹, siendo la situación de salinidad más frecuente la de NaCl pero los suelos salinos suelen presentar distintas combinaciones de sales, de las cuales los principales cationes y aniones que componen las sales solubles que dan lugar a la salinidad del suelo son, cationes: sodio (Na⁺), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), potasio (K⁺) y los aniones: cloruro (Cl), sulfato (SO₄²⁻), nitrato (NO₃) y bicarbonato (HCO₃⁻) (Sierra, 2016).

1.3 Clasificación de los suelos afectados por sales

Los problemas de salinidad y sodicidad pueden aparecer en forma conjunta o separada en los suelos. Es importante saber diagnosticarlos, pues las afectaciones que ocasionan a los suelos y cultivos difieren entre sí. A continuación se proveen algunas definiciones básicas, tomadas del Glosario de Términos de Ciencia del Suelo usado por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (Soil Science Society of America, 2001).

a) Suelos salinos

Contienen una concentración de sales solubles neutras suficientes para interferir en el crecimiento y alteran la fisiología de las plantas. El pH normal está por debajo de 8,5 y menos del 15 % PSI de estos suelos está ocupado por el catión sodio. Esto es a causa de las sales solubles presentes mucho más neutras, que debido a su dominio sobre las otras, dan lugar a la presencia de un pequeño PSI. El exceso de sales solubles que son por lo general cloruros y sulfato de sodio, calcio y magnesio

pueden ser lixiviados fácilmente disminuyendo su condición alcalina (Morales, 2001).

La solución saturada de estos suelos tiene una presión osmótica mayor de 1.5 bar. Son suelos en los que se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso, suficiente para interferir en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas (Porta, López-Acevedo, y Roquero, 2003). El catión predominante es el 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 floculante del Ca^{2+} , por lo que la alta presión osmótica de la solución del suelo es la responsable de la baja productividad (W. Fassbender, 1987).

b) Suelos sódicos

Los suelos sódicos se desarrollan cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio (Maiola, 2012). El PSI es mayor del 15 % y la conductividad eléctrica es menor que 4 dS.m^{-1} , en estas condiciones el pH generalmente fluctúa de 8.2 a 10 o mayores (De la Peña, 1980).

Estos suelos contienen suficiente sodio intercambiable para afectar adversamente la producción de los cultivos y la estructura en la mayoría de los suelos, produciendo la dispersión de las arcillas, lo que lleva a una destrucción de la estructura. Además 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 (Porta *et al.*, 2003).

Las altas concentraciones de sodio en los suelos no sólo perjudican a las plantas directamente, también degradan la estructura del suelo, disminuyendo la porosidad y la permeabilidad del agua. Estos suelos se caracterizan por presentar propiedades físicas y químicas desfavorables para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Morales, 2001).

c) Suelos salino-sódicos

Este grupo contiene apreciables cantidades de sales solubles neutras e iones de Na^+ adsorbidos, que afectan seriamente a las plantas. Esta clase de suelos es el resultado de la combinación de los procesos de salinización y acumulación de sodio, donde algo más del 15 % del total de la capacidad de cambio está ocupada por esta sal. Su pH rara vez es mayor de 8.2 esto es consecuencia de la influencia refrenadora de las sales solubles neutras donde las partículas permanecen floculadas en estas condiciones (De la Peña, 1980).

La lixiviación afecta mucho a estos suelos. Esto se debe al sodio intercambiable una vez que las sales neutras solubles han sido removidas, hidrolizan y aumentan notablemente la concentración de iones OH^- de la solución del suelo. En la práctica esto es desfavorable, porque los iones de Na^+ dispersos, separan los coloides minerales que estaban formando una estructura cerrada en el suelo. Al mismo tiempo, la toxicidad del sodio para la planta aumenta notablemente (Estupiñan, Veitía, Escobedo, y González, 2002).

En estos suelos, al igual que los sódicos, el PSI excede frecuentemente el 15 %. Su conductividad es comúnmente superior de 4 dS.m^{-1} (a $25 \text{ }^\circ\text{C}$). En general, tienen niveles de pH inferiores a 8.5 y sus propiedades físicas son menos problemáticas que las de los suelos sódicos, esto se debe al efecto coagulante de las sales presentes. Su apariencia es similar a las de los suelos salinos (W. Fassbender, 1987).

1.4 Distribución de la salinidad en Cuba

En nuestro país, al igual que en el resto del mundo, asociadas al proceso de salinización antrópica, inciden también condiciones climáticas desfavorables (escasas precipitaciones y alta evaporación), además del mal drenaje. Esto hace que sean más intensos los procesos de acumulación de sales en el suelo. Para aumentar los terrenos destinados a la ganadería y a la agricultura, la deforestación provocó, en muchos casos, la salinización de los suelos potencialmente salinos y el ascenso de las sales por capilaridad (López., 2001).

Las provincias orientales son las más afectadas del país y precisamente en ellas, aparecen los suelos más salinizados. Estos se encuentran fundamentalmente en dos macizos: el Valle del Cauto y el Valle de Guantánamo (Mesa, 2003).

En la provincia Holguín la cuenca del Cauto tiene un área de 2188 km² y desde la década del 50, ha afrontado problemas con la salinización de los suelos y su desarrollo paulatino con un 30.29 % de áreas salinizadas, motivado por diversos factores entre los que se incluyen la deforestación, mal uso de las técnicas de riego y drenaje, compactación de los suelos y otras como la influencia de las condiciones hidrogeológicas, considerando en ello el quimismo de las aguas subterráneas (desde algo salobres a salobres) predominando aguas Cloruradas Sódicas, existiendo cubierta arcillosa cuyos ascensos capilares, con ascenso de las aguas subterráneas hasta la superficie del terreno ,depositan sales sobre ella. Además se han construido varios embalses de agua que provocan el ascenso de los niveles de las aguas subterráneas (Mata-Fernández, Rodríguez-Gamiño, López-Blanco, y Vela-Correa, 2014).

En el municipio Calixto García de acuerdo a las condiciones geográficas de la región, existen acumulaciones de carbonatos secundarios, lo que disminuye la absorción de hierro, trae problemas en la distribución de las plantas, desfavorables relaciones íter - nutrimentos y como consecuencia la clorosis férrica y posible deficiencia de Magnesio (Mg²⁺). La misma causa, junto al incorrecto laboreo ha provocado el deterioro sistemático de la estructura en la capa arable, por lo que son también, muy vulnerables a la sequía. Estas limitantes provocan que los suelos del municipio sean muy poco favorables para los fines agrícolas, lo que trae consigo disminución de los rendimientos y la inadaptabilidad de especies y variedades a estos fenómenos.

El régimen de poco lavado e inadecuada calidad de las aguas de riego o aumento de la salinidad de las mismas al pasar por canales en medio de áreas salinas, tiene por efecto el estrés hidrosalino, empeoramiento de las propiedades físicas del suelo , elevación del pH ,produciendo el deterioro general de la plantación y la toxicidad (Almaguer-Pérez, 2015).

1.5 Origen de la salinidad en los suelos

De acuerdo con (Porta, *et al.*, 2003), se pueden plantear distintos ciclos de salinización:

Ciclos continentales

La fuente original de las sales del suelo y del agua, es de los minerales primarios que se encuentran formando las rocas que constituyen la corteza terrestre. La formación de las sales ocurre mediante el proceso de intemperización (hidrólisis-hidratación-solución-oxidación y carbonatación, a veces precipitación), sobre las rocas donde se liberan todos los minerales que a la postre constituyen los suelos (Aceves, 1979).

Ciclo continental de acumulación primaria de sales

Los componentes solubles de los suelos salinos proceden en este caso de la meteorización de rocas. Los elementos liberados se acumulan “in situ” sin mediar transporte. Las reacciones de meteorización que pueden estar implicadas en este tipo de procesos son:

- ✓ Disolución congruente: los productos de la meteorización son todos ellos solubles y su proporción es la misma que en el mineral.
- ✓ Disolución incongruente: la meteorización da lugar a productos solubles y a la neoformación de minerales insolubles, característica de los procesos de hidrólisis.
- ✓ Redox: en la meteorización hay cambios en el estado de óxido-reducción.

Ciclo continental de acumulación secundaria de sales

La movilización, redistribución y acumulación de sales a cierta distancia de su lugar de origen caracterizan los ciclos de acumulación secundaria. Por lo general, las rocas sedimentarias se han formado en océanos o en lagunas salobres. El depósito de los elementos terrígenos puede haber estado asociado a procesos evaporíticos. Las rocas resultantes pueden contener cierta cantidad de sales solubles precipitadas. Al aflorar o quedar cerca de la superficie por erosión, estos materiales pueden actuar como centros de redistribución de la salinidad. Al ser mojados por el agua de escorrentía superficial o por el agua de percolación, las sales serán

movilizadas y redistribuidas. Estas acumulaciones tienen lugar en las áreas deprimidas que presenten condiciones de drenaje deficiente.

Ciclos deltaicos de acumulación de sales

Los deltas son áreas de gran importancia por la fertilidad natural de los suelos. Se benefician de los entarquinados, que de forma natural se derivan de las inundaciones. Son áreas con abundancia de agua para una agricultura de regadío. Los ciclos de salinización en estas zonas son complejos, al haber interacciones entre el agua de mar, procedente de las inundaciones durante las tempestades, el agua transportada por el río, cuyo contenido salino suele ser bajo y el agua de la capa freática, salina si está asociada con el agua de mar y con un bajo contenido de sales, si se trata del freático del río. El equilibrio del sistema es frágil, lo que debe ser tenido en cuenta al plantear cualquier actuación que pueda provocar impactos negativos con efectos irreversibles.

Ciclos antropogénicos

Los procesos descritos anteriormente pueden verse modificados por las actuaciones del hombre. Las principales acciones que han dado lugar a ciclos antropogénicos de salinización son: actividades agrícolas mal realizadas, uso de fertilizantes inadecuados, riego con aguas residuales depuradas con poli electrolitos, transformaciones por regadío y la actividad industrial y minera.

La industrialización ha aumentado los contenidos atmosféricos en NO_3 y compuestos a base de azufre, que son devueltos al suelo por las lluvias. El carácter ácido de éstas aumenta la tasa de meteorización (Ariza, 2012).

Fuentes de salinidad primaria y secundaria en Cuba

Las fuentes de salinidad se pueden distinguir por su origen natural (salinidad primaria) o como resultado de la actividad humana (salinidad secundaria) (Aceves, 1979).

Fuentes de salinidad primaria

En Cuba las fuentes naturales de sales se caracterizan por aerosoles marinos llevados por la circulación atmosférica de los vientos predominantes (este-sudeste y vientos alisios del sudeste) y olas de vientos fríos acompañantes del norte.

Antiguos sedimentos marinos al norte y sur del archipiélago cubano, constituidos por rocas salinas de yeso y arenosas. La acumulación de sedimentos continentales traídos por los ríos desde las montañas hacia las áreas planas durante el período cuaternario. Y la intrusión del mar en acuíferos subterráneos cálcicos por debajo del nivel del mar. En nuestro país hay pocos suelos con procesos de salinidad primaria y los mismos están asociados con pantanos litorales y lagunas costeras. Los suelos salinos naturales son una consecuencia de las mareas altas, que ocurren frecuentemente durante los períodos de huracanes. Otras causas son los depósitos de turba y los sedimentos calcáreos, que se encuentran actualmente en los pantanos salinos litorales (Gracia-Navarro, 2005).

Fuentes de salinidad secundaria

La mayoría de los suelos afectados por los procesos salinos en Cuba se originaron a partir de la salinidad secundaria. Siendo las causas de salinidad la deforestación de tierras accidentadas, con el consecuente cambio en el régimen de agua, ocurrencia de precipitaciones y la intensificación de la erosión. La pérdida de vegetación en las tierras bajas y los pantanos en las costas, por la tala indiscriminada de especies endémicas de árboles y arbustos. El uso de aguas salinas para la irrigación, proveniente de acuíferos cálcicos subterráneos. Elevación de los niveles de agua salina subterránea, producto de excesiva irrigación y prácticas agronómicas incorrectas (fertilización química, labores de drenaje, excesiva aplicación de materia orgánica). La mayoría de los suelos afectados, están localizados al sur y al norte de las regiones central y oriental del país, en áreas con un promedio anual de precipitaciones entre 400y 700 mm y un balance negativo de lluvias/evaporación (Ortega, Peña, y Castillo, 1986).

El desconocimiento de los procesos de salinización y los factores que los controlan ha provocado la degradación de extensas áreas en Cuba, a los pocos años de la transformación a una agricultura de regadío. Los principales desequilibrios provocados en los sistemas han sido consecuencia de la mano del hombre debido a prácticas inadecuadas: regar con aguas de elevado contenido salino, fertilización excesiva en zonas deprimidas, tala indiscriminada y contaminación del suelo y el

agua por solo mencionar algunas. Todo esto ha provocando un incremento en la acumulación de sales a lo largo de la isla acentuándose con mayor fuerza en la zona oriental de país lo que ha producido una disminución y en ocasiones perdida del potencial productivo de numerosos suelos, hoy destinados a la ganadería por no ser adecuados para el establecimiento de cultivos. Por ello es necesario conocer la distribución espacial de las zonas afectadas por este proceso, sirviendo como punto de partida para establecer un plan de medidas para su conservación y protección.

1.6 Salinidad y sodicidad en el agua. Generalidades y criterios de evaluación

La severa sequía que ha afectado en los últimos años al país, principalmente en la región Oriental, no sólo ha generando una menor disponibilidad de agua para la agricultura sino también afecta su calidad. Este fenómeno se produce debido a que los menores caudales de ríos y esteros concentran más las sales, lo que se marca con mayor fuerza en zonas donde prevalece la sequía como Calixto García. Esto se traduce en incrementos de la (Ce) y del pH del agua (Sierra, 2016).

La calidad del agua en muchas ocasiones está en función de su procedencia, de ahí la necesidad de conocer su origen, ya que en ocasiones cuando esta no es manejada de forma correcta puede ser una fuente importante de salinización del suelo. El agua de riego por su procedencia puede ser: corriente (ríos, arroyos), embalsada (presa) y subterránea (pozos), de ellas las aguas superficiales abastecen a la mayoría de los sistemas de riego, presentando la limitante de escasear en los meses del año en que las demandas de riego por los cultivos son más altas, en tal sentido para alcanzar un mejor aprovechamiento de las corrientes se almacenan en embalses para utilizarlas en los meses de mayores exigencias. En algunas regiones el agotamiento de las aguas superficiales obliga a utilizar aguas subterráneas mediante el bombeo, lo cual encarece los costos y por tanto del proceso productivo. Independientemente de la procedencia de las aguas de riego, la calidad de las mismas se establece sobre la base de tres criterios: salinidad, sodicidad y toxicidad (Ayers y Westcot, 1987).

Criterios para la evaluación de la calidad del agua de riego

La calidad del agua y su adecuación para el riego se determinan por la importancia de los problemas que puedan aparecer en el sistema agua - suelo - planta después de un uso prolongado. Los riesgos más comunes, según los cuales se evalúan los efectos de la calidad del agua, son los relacionados con:

Salinidad:

Del agua de riego aplicada al suelo, una parte se infiltra y otra es retenida en el propio suelo. Esta última fracción es la que aporta las sales al suelo, debido, por una parte, a la evaporación del agua, y por otra, a su extracción por las raíces de las plantas. La magnitud de la acumulación de sales en el suelo depende de la calidad del agua, del manejo del riego y de la eficacia del drenaje. La acumulación excesiva de sales en la zona radicular del suelo, salinización, afecta la absorción hídrica del cultivo mediante mecanismos osmóticos, aumentando el consumo de energía para la extracción del agua y provocando pérdidas de rendimiento.

La concentración de estas sales disueltas en el suelo afecta el esfuerzo de succión que la planta tiene que ejercer para absorber el agua. Además de la concentración de sales que posee el agua hay que sumarle la del abono, por lo que si el agua es de mala calidad se deben de utilizar concentraciones de abonado menores y como consecuencia aplicaciones más frecuentes de agua de mejor calidad.

Infiltración y escorrentía del agua:

Cuando la velocidad de infiltración del agua de riego se reduce apreciablemente, el agua permanece sobre el suelo durante un tiempo demasiado largo, o se infiltra muy lentamente, sin producirse la renovación del agua consumida por el cultivo, este no recibe el agua que necesita para producir una cosecha aceptable. La infiltración del agua en el suelo depende de la calidad del agua, de las características físicas del suelo (como estructura, grado de compactación, contenido de materia orgánica, textura, tipo de minerales en las arcillas) y de sus características químicas, como los cationes intercambiables (USSL Staff, 1954.).

Los cationes más abundantes en la disolución del suelo y en el complejo de cambio de los suelos regados en las zonas áridas y semiáridas son calcio y magnesio. Con

frecuencia, las aguas de riego contienen concentraciones elevadas de sodio, que tiende a reemplazar parcialmente en el complejo de cambio a los cationes divalentes. Así, los iones divalentes, y en particular el calcio, proporcionan características físicas favorables a los suelos, mientras que el sodio absorbido determina la dispersión e hinchamiento de las arcillas, cuando su proporción es suficientemente elevada, puede llegar a causar la dispersión del suelo y la reducción de su permeabilidad. Los factores de calidad que suelen influir en la infiltración son el contenido total de sales (salinidad) y el contenido de sodio en relación a los de calcio y magnesio (sodicidad). La infiltración, en general, aumenta con la salinidad y disminuye con la reducción de ésta o con un aumento en el contenido de sodio en relación al calcio y magnesio. (Ayers y Westcot, 1987)

Toxicidad:

La presencia de sales solubles en la zona radicular provoca la absorción por la planta de algunos iones específicos que, acumulados en sus tejidos, pueden llegar a provocar efectos tóxicos en ella. Estos afectan al desarrollo normal de la planta, provocando una reducción del rendimiento e incluso, en fases más agudas, su muerte.

En las aguas de riego los iones más comunes que pueden provocar problemas de toxicidad son cloruro, sodio y boro, difiriendo notablemente los umbrales de toxicidad entre las distintas especies vegetales. También algunos oligoelementos (por ejemplo: Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Cd) pueden resultar tóxicos, aún a concentraciones muy bajas, para las plantas y/o para el hombre si se acumulan en las partes de la planta utilizadas para la alimentación.

De manera general el criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales, con el correspondiente efecto osmótico y la disminución del rendimiento de los cultivos. El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que se induzca un elevado porcentaje de sodio intercambiable, con el consiguiente deterioro de la estructura del suelo y el criterio de toxicidad estudia los problemas que pueden crear determinados iones en los cultivos.

Se debe valorar en cada situación el riesgo potencial del empleo del agua, ya que el problema se presenta cuando esas aguas evolucionan en el suelo, debido a que la evapotranspiración disminuye la humedad del suelo, pero no elimina las sales, haciendo que la solución del suelo se haga más salina a medida que se seca alcanzando valores elevados. De la misma forma se pueden presentar otros fenómenos que al concentrarse las sales, algunas pueden solubilizarse y precipitar inutilizando determinados cationes y alterando la concentración inicial, fundamentalmente en sales de calcio de baja solubilidad como, sulfato de calcio y carbonato de calcio, aumentando la proporción de sodio del agua del suelo y el (PSI) en el suelo. La evaluación no depende sólo del agua sino de cómo se aplican los riegos, si son frecuentes o espaciados, si los lavados son fuertes o débiles y de los cambios catiónico del suelo.

Resulta indispensable para determinar la limitación o conveniencia del agua que se pretende utilizar con fines de riego, debe tomarse en consideración la composición química de la misma, la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades físicas y químicas de los suelos, las prácticas de manejo de los suelos, el agua y los cultivos, las condiciones climatológicas, el método de riego a emplear y las condiciones del drenaje tanto interno como superficial (Pujol y Boicet, 2000).

1.7 Clasificación de las aguas de riego

(Ortiz, 1997), menciona diferentes clasificaciones de las aguas de riego, sin embargo la más utilizada es la propuesta por la (USDA, 1999)

Este criterio, propuesto en 1954 por el laboratorio de salinidad de los Estados Unidos, se basa en el nivel de sales de un suelo, expresado como conductividad eléctrica medida en el extracto de saturación, es comúnmente de 2 a 10 veces mayor que el del agua con que ha sido regado. La clasificación se expresa a continuación:

Clase 1.

Aguas de salinidad baja. En esta clase quedan incluidas las aguas que tengan $CE < 0.25 \text{ dS.m}^{-1}$ ($250 \mu\text{mhos.cm}^{-1}$). Estas aguas pueden ser utilizadas para riego en

todo tipo de suelos y cultivos, sin riesgo de que se presenten problemas de salinidad en el suelo y prácticamente sin medidas especiales de manejo.

Clase 2.

Aguas de salinidad media. Se trata de aguas con CE que oscilan entre 0.25 y 0.75 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Las aguas de esta clase, si se aplican sin un manejo adecuado, pueden ocasionar problemas de salinidad en el suelo, por lo cual se recomienda que su uso se lleve a cabo en suelos provistos de buen drenaje, o bien a través del uso de cultivos tolerantes a la salinidad, ya que es de esperar la reducción en los rendimientos de cultivos sensibles.

Clase 3.

Aguas de salinidad alta. Se incluyen en esta categoría aguas que presentan CE de 0.75 a 2.25 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. El elevado contenido de sales de estas aguas provocará sin duda problemas de salinidad en el suelo, por lo cual es necesario restringir su uso en suelos de texturas ligeras o medias, con un drenaje eficiente, unido a la aplicación de medidas de control de la salinidad y utilizando cultivos mediana o altamente tolerantes.

Clase 4.

Aguas de salinidad muy alta. Poseen CE superiores a 2.25 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y no se consideran adecuadas para el riego, aunque podrían usarse en cultivos muy resistentes o en suelos con buen drenaje, aunque siempre aceptando que el suelo se vuelva salino en mayor o menor grado.

En las evaluaciones de la aptitud del agua de riego, es necesario considerar el cultivo y el suelo, además es necesario aclarar que no debe confundirse la CE aceptable en el agua de riego con la CE que toleran los cultivos, esta última es la CE del extracto de saturación del suelo (CEe).

Capítulo II. Patrones para medir la cantidad y tipo de sales presentes en agua y solución del suelo

El diagnóstico de los problemas de salinidad potencial o existente, se hace con base al análisis del extracto de saturación de los suelos y de las aguas de riego y drenaje. Por lo que es necesario establecer los parámetros por los cuales los

suelos afectados con sales son evaluados. Estos factores generalmente son: Conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), Relación de Absorción de sodio (RAS) y la determinación del pH.

2.1 Condiciones salinas. Conductividad eléctrica (CE)

La CE es medida para estimar el total de la concentración de sales. Una relación casi lineal entre la concentración de iones en una solución y la posibilidad de que la solución conduzca la electricidad. Esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos, sus concentraciones absolutas y relativas, su movilidad y su valencia y de la temperatura y la viscosidad de la solución. En el caso del agua ya que es difícil medir los sólidos disueltos totales en el campo, se utiliza la conductividad eléctrica del agua como una medida del total de sólidos solubles TDS. Esta refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Este parámetro sirve para estimar el contenido total de constituyentes iónicos. Las mediciones se presentan en unidades disimétricas de decisiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) que han sustituido las unidades tradicionales de milimhos por centímetros ($\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$). Como la CE aumenta aproximadamente 2 % por cada grado centígrado de temperatura, se acostumbra referir todos los valores a una temperatura de 25 °C para lo cual se usan tablas de conversión de valores (Hernández-Araujo, 2011).

La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumenta los valores de ambos. Las sales y también otras sustancias afectan la calidad del agua de riego influyendo en la biota acuática. Un alto contenido de sales disueltas en el suelo, eleva la presión osmótica de la solución del mismo, exigiendo un esfuerzo adicional de los cultivos para absorber agua en detrimento de la necesaria para su desarrollo y como consecuencia ocasiona disminuciones en los rendimientos (Vázquez, Andreau, y Gelati, 2011). La Tabla 2 muestra el grado de salinidad de acuerdo al rango de CE de una solución determinada.

Conociendo la CE podemos evaluar, aproximadamente, otros parámetros:

- Contenido de sales en la solución (en gramos/litro) = $CE \text{ (dS.m}^{-1}\text{) a } 25^{\circ}\text{C} \times 0.64$.
- Presión osmótica de la solución (en atmósferas) = $CE \text{ (dS.m}^{-1}\text{) } \times 0.36$.
- Contenido de sales en el agua (en meq/L) = $CE \text{ (dS.m}^{-1}\text{) } \times 10$.

Factores que afectan la (CE).

1. El suelo y las rocas descargan iones en el agua que fluyen a través y por encima de ella. La geología de una cierta zona determina la cantidad y el tipo de iones.
2. La marea influye en la salinidad y la conductividad de los ríos costeros. El aerosol del mar carga las sales en el aire hasta que la lluvia los descarga de nuevo en el río.
3. El flujo de los ríos hasta los estuarios puede afectar mucho la salinidad, así como la localidad de la zona estuarina de contacto entre el agua salada y el agua dulce.
4. El agua dulce que se pierde por evaporación aumenta la conductividad y la salinidad de la masa de agua.
5. La conductividad eléctrica depende de la temperatura: mientras más alta sea la misma, más alta será la conductividad eléctrica. La Conductividad eléctrica del agua y de extractos de saturación de pastas de suelos, aumenta en un 2-3 % para un aumento de 1 °C de la temperatura del agua. (Severiche-Sierra, Castillo-Bertel, y Acevedo-Barrios, 2013).

2.2 Condiciones Sódicas. pH

La concentración en sodio se puede medir, bien en la solución del suelo o bien en el complejo de cambio. En el primer caso se denomina la relación de adsorción de sodio (RAS) y en el segundo hablamos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

RAS Relación de adsorción de Sodio

La RAS denota la proporción relativa en que se encuentra el sodio respecto al calcio y magnesio, cationes divalentes que compiten con el sodio por los lugares de

intercambio del suelo. Su valor se mide en miliequivalentes/litro (meq/l). La importancia de su medición radica en que el ión sodio tiene por característica una fuerte tendencia a desestabilizar la estructura del suelo, causando falta de nutrientes en las plantas (Jaschek, 2016).

Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

El PSI expresa el porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos. Se considera que un suelo puede sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el $\text{PSI} > 15\%$ (W. Fassbender, 1987).

pH

El pH es un parámetro que mide la concentración de iones hidrógeno presentes en agua y soluciones de suelo. Es utilizado para diagnosticar, clasificar, y establecer medidas de recuperación y/o manejo de suelos afectados por sales. Este tiene su efecto principal, en relación con las plantas, desde el punto de vista de su nutrición. Muchos de los elementos nutritivos se vuelven insolubles cuando aumenta y otros, son menos solubles cuando disminuye. Es un método rápido que sirve para expresar de una manera sencilla y con gran exactitud el grado de acidez y basicidad que presenta una solución.

Clasificación del pH del suelo y el agua.

(Fireman y Wadleigh, 1951) establecieron recomendaciones para interpretar las lecturas de pH en pastas saturadas:

-pH > 8.5 casi invariablemente indica PSI mayor de 15 % y la presencia de carbonatos alcalinos.

-pH < 8.5 Pueden o no exceder el 15 % de saturación por sodio.

-pH < 7 Altas cantidades de hidrógeno intercambiable.

De acuerdo con el valor de pH que presenten y con el método utilizado para determinarlo, los suelos se califican de varias maneras, según diferentes autores, como puede apreciarse en la Tabla 3.

En términos generales puede considerarse que, desde el punto de vista del pH, los suelos se pueden agrupar en tres grandes categorías: Suelos ácidos los que

presentan $\text{pH} < 6.5$; Suelos neutros los que tienen pH entre 6.5 y 7.3 y Suelos básicos aquellos que exhiben valores de $\text{pH} > 7.3$.

La medición del pH del agua de riego tiene gran importancia, y realmente puede determinar el éxito o el fracaso de la cosecha. El pH es un índice de la concentración de los iones de hidrógeno (H^+) en el agua. Se define como $-\log(\text{H}^+)$. Cuanto mayor sea la concentración de los iones de hidrógeno en el agua, menor será el valor del pH . La escala del pH va desde 0 a 14 donde:

- ✓ El agua con un pH inferior a 7 se considera ácida (mayor concentración de iones de H^+)
- ✓ El agua con un pH superior a 7 se considera básica (menor concentración de iones de H^+)
- ✓ El agua con un pH de 7,0 se considera neutral.

Desde que la escala del pH es una escala logarítmica, un cambio de una unidad del pH (de 5,0 a 6,0) significa un cambio de 10 veces en la concentración de los iones de hidrógeno. Los iones de hidrógeno participan en la mayoría de las reacciones químicas en el agua. La concentración de los iones de hidrogeno (y por lo tanto, el pH) influye en la solubilidad de los fertilizantes, las formas iónicas de los elementos, la disponibilidad de los nutrientes a las plantas, la estabilidad de los quelatos etc. Un agua o una solución del suelo con un pH demasiado alto, puede resultar en deficiencias de nutrientes, principalmente de micro-nutrientes, como el hierro. Mantener el pH del agua de riego por debajo de 7,0 es también importante para prevenir las obstrucciones de emisores, debido a la precipitación de sales. Por otra parte, un pH demasiado bajo, podría dar lugar a la toxicidad de los micro-nutrientes y daños al sistema radicular de la planta. El rango deseable del pH en la zona radicular para la mayoría de las plantas es entre 5.5 a 6.5 (Sela, 2015).

Importancia del pH en el suelo

La mayor importancia del pH radica en la disponibilidad de nutrientes, prácticamente la disponibilidad de todos los nutrientes de la planta está controlada por el pH del suelo. Además, también se incluye el valor de pH que produce la

mayor solubilidad de otros elementos que, aunque no son nutrientes vegetales, sí pueden afectar el desarrollo de la planta.

Factores que afectan la medida del pH del agua y el suelo

Los valores que toma el pH pueden variar de acuerdo a ciertas circunstancias bajo las cuales se hace la determinación.

Efecto de dilución

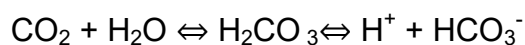
La proporción suelo - agua o solución con la cual se prepare la suspensión para medir el pH afecta esta medida. Si la relación 1:1 se altera, adicionando más agua o solución, el valor del pH aumenta, debido a que se diluye la solución del suelo y se expande la doble capa difusa (DCD). Por esta razón, varios protones pueden pasar a la capa difusa, desde la solución externa (por fuera de la DCD) del suelo, retirando parte de la acidez de ella y, por lo tanto, haciéndola más básica.

Efecto de las sales

Cuando el pH del suelo se mide en una suspensión hecha con una solución salina adquiere un menor valor (es más ácido) que cuando se determina en una suspensión hecha en agua. La adición de sal incrementa la concentración de la solución del suelo con lo cual se contrae la doble capa difusa DCD. Parte de los cationes (H_3O^+ y otros) que estaban saturando el coloide son desplazados por el catión de la sal y pasan a la solución externa, lo cual hace que el pH baje al aumentar la concentración de H_3O^+ en dicha solución.

Efecto del contenido de CO_2

Al aumentar la concentración de CO_2 , el pH disminuye debido a la formación de ácido carbónico, en una primera etapa, y a la liberación de protones, en una posterior, según la siguiente reacción:



Variaciones estacionales

Se presentan variaciones en el pH, al ser medido en diferentes épocas del año, por efecto de cambios que se producen, a través del tiempo, en el efecto de dilución,

en el contenido de sales y/o en el aporte de CO₂ debido a la actividad biológica de los organismos en el suelo. En términos generales, en período seco, el pH del suelo es menor (más ácido) que en las épocas húmedas.

2.3 Presencia de Carbonatos en el suelo

Son compuestos que reaccionan a los ácidos, produciendo un burbujeo al desprenderse el dióxido de carbono. Estos permiten identificar algunas rocas sedimentarias, que pueden ser el material parental de los suelos, bien algún proceso de acumulación de sales o quizá por el uso de agua de riego salina. Los carbonatos más comunes son de calcio y le siguen los de sodio o magnesio.

Son comunes en las áreas desérticas, cuencas cerradas y en muchos ambientes litorales y en algunos suelos, pueden abatir (disminuir) los rendimientos de los cultivos, al limitar la respuesta a la fertilización e inclusive pueden llegar a impedir el desarrollo de ciertas especies de interés agrario. Las deficiencias de hierro, zinc, fósforo y nitrógeno pueden explicarse con la presencia excesiva de carbonatos. Cuando se presentan acumulaciones de carbonato a cierta profundidad en el perfil edáfico, las plantas pueden sufrir la muerte de su yema apical, después de haber tenido un desarrollo inicial normal (Arteta, 2007).

Carbonatación/Descarbonatación

Estos procesos son el resultado de la insolubilidad de los carbonatos en contraste con la solubilidad de los bicarbonatos. El agua del suelo está cargada de CO₂ y puede disolver los carbonatos pasándolos a bicarbonatos que pueden profundizar en el suelo y entonces pueden precipitar produciendo acumulaciones de carbonatos, generalmente constituidos por calcita.

Parámetros que influyen en la carbonatación y descarbonatación

La translocación de carbonatos está gobernada por el balance de reacción entre carbonatos (insolubles) y bicarbonatos (solubles) de acuerdo con la siguiente ecuación:

Decarbonatación $\text{CaCO}_3 \text{ (insoluble)} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2\text{HCO}_3^-$
Carbonatación

Los parámetros que influyen en la reacción son:

Agua

La concentración de agua es muy importante en el comportamiento de los carbonatos en el suelo. Un aumento de agua producirá la disolución de los carbonatos, mientras que una disminución producirá la correspondiente precipitación e inmovilización de los carbonatos.

CO₂

Un aumento de CO₂ producirá la disolución de los carbonatos, mientras que una disminución producirá la correspondiente precipitación e inmovilización de los carbonatos. La acción del CO₂ en la disolución de los carbonatos es de gran importancia ya que la presión parcial de CO₂ en el aire del suelo es diez veces mayor que la de la atmósfera o incluso mayor. Esta acumulación de CO₂ es debida a la actividad biológica (acción de las raíces y respiración de los microorganismos) y a la descomposición de la materia orgánica.

pH

Los cambios en el pH afectarán al sistema ya que al aumentar el contenido de CO₂ en agua también aumentará proporcionalmente la acidez y la disolución de los carbonatos tendrá lugar. Lo contrario ocurrirá si aumenta la alcalinidad.

Temperatura

La temperatura afecta al equilibrio ya que el CaCO₃ es menos soluble en agua caliente que en agua fría. La solubilidad de los carbonatos decrece cuando aumenta la temperatura y por eso la movilidad de los carbonatos será mayor en climas fríos que en climas cálidos.

Sales

Otro parámetro que influye en la solubilidad de los carbonatos es la concentración de la solución del suelo. El efecto que las sales disueltas tienen en la solubilidad de una sal particular, es bien conocido. Así la presencia de un ión común reduce la solubilidad, mientras que la presencia de otras sales que no tienen ningún ión común con los carbonatos aumenta la solubilidad de la sal particular.

Después de considerar los parámetros que influyen en el proceso de carbonatación/decarbonatación, parece claro que la acumulación de carbonatos por la precipitación de soluciones en el suelo tiene lugar como consecuencia de una sobresaturación causada por una o más de las siguientes razones citadas por (Dorronsoro, Aguilar, y Fernández, 1996).

- ✓ Pérdida de agua por evaporación o transpiración.
- ✓ Pérdida de CO₂.
- ✓ Por un estado de sobresaturación del agua, con bicarbonatos o en otras sales con un ión común, que se mueve a través del suelo.
- ✓ Un aumento del pH.
- ✓ Un aumento de la temperatura.

Distribución CO₃ en el perfil

Tanto el CO₂ como el agua son más abundantes en los horizontes superiores (debido a su más alta actividad biológica, más contenido en materia orgánica y mas proximidad al agua de lluvia), la disolución de los carbonatos debe de ocurrir en estos horizontes.

Posteriormente, los carbonatos serán transportados por las aguas de infiltración y al llegar a los horizontes inferiores, con menores concentraciones de CO₂ y de agua, precipitaran y se acumularan.

Translocación

La dirección de la translocación de carbonatos en los suelos puede ser vertical (descendente o ascendente) o lateral (inclinada).

La translocación de carbonatos por movimiento vertical descendente es el resultado de la progresiva infiltración de agua de precipitación atmosférica que disuelve los carbonatos en los horizontes superiores de los suelos y los deposita en los horizontes más profundos donde se produce la precipitación de estas sales, generalmente a causa de una disminución del contenido en agua de CO₂ disuelto. Para que este mecanismo tenga lugar son necesarias ciertas condiciones hídricas,

tales como la circulación de suficiente cantidad de agua como para llevar a los carbonatos hasta las zonas más profundas, pero no tanto que los elimine del suelo: Además es evidente que se necesita la presencia de carbonatos en los horizontes más superficiales o por lo menos liberación de Ca^+ en cantidades suficientes como resultado de la alteración de los minerales primarios.

El modelo de translocación vertical ascendente se explica por la existencia de una capa de agua rica en bicarbonatos y una capilaridad ascendente causada por evaporación y succión por las raíces de las plantas. Luego el agua se evaporará, o se absorberá por la vegetación, produciéndose la precipitación de los carbonatos. Finalmente, a menudo se observan horizontes cálcicos en las partes más bajas de los relieves de área calizas, generalmente en zonas donde existe una rotura de la pendiente. Esto se explica por la existencia de flujos importantes de soluciones de bicarbonato que migran pendiente abajo, y dado que las soluciones se van concentrando cada vez más y que la permeabilidad de los suelos disminuye en las depresiones, se produce la correspondiente acumulación de carbonatos.

Factores de formación de los carbonatos en el suelo

En la formación de los carbonatos influyen los cinco clásicos factores formadores que condicionan los suelos.

Material original

En condiciones normales, el material original tiene una influencia indudable en el contenido de carbonatos del suelo. En la mayoría de los casos la roca madre constituye la fuente inicial de carbonatos bien porque ya estaban presentes en ella o porque, aunque originalmente no lo estaban, los carbonatos se han formado en el suelo, por alteración de los minerales primitivos ricos en calcio (plagioclasas, piroxenos y anfíboles, principalmente). Sin embargo, no son excepcionales los suelos con horizontes cálcicos formados a partir de materiales sin carbonatos ni minerales que podrían generarlos. El origen de los carbonatos, en estos casos, se explica por aportes eólicos o hídricos (Dorrnsoro-Fernández *et al.*, 2004).

Relieve

En principio, los horizontes cálcicos podrían encontrarse en cualquier tipo de relieve, pero debido a sus específicas condiciones de formación, tienden a acumularse en ciertas posiciones fisiográficas.

La circulación hipodérmica de las regiones calizas hace que los carbonatos migren de las zonas más altas de las colinas y se concentren en las partes más bajas de las pendientes.

Vegetación

La vegetación juega un importante papel en la formación de estos horizontes ya que las raíces de las plantas absorben agua y producen la concentración y consiguiente precipitación de las sales. Además, la vegetación es capaz de formar cristales de carbonatos que provisionalmente se acumulan en sus tejidos y, después al morir, los carbonatos sintetizados se incorporan al suelo. La síntesis de carbonatos ha sido observada también como el resultado de la acción metabólica de ciertas bacterias. Existen numerosos autores que han destacado la acción de los organismos en la formación y transformación de los horizontes cálcicos.

Clima

En clima húmedo, el proceso representativo es el lavado de carbonatos y es inusual que se presente su acumulación, mientras que en climas árido o semiárido la precipitación es generalmente insuficiente para eliminar los carbonatos del perfil. Además la cantidad total de precipitación y su distribución a lo largo del año afecta, decisivamente, al comportamiento de los carbonatos. Sin embargo, dado que están involucrados en este proceso una serie de parámetros edáficos (tales como la permeabilidad de los horizontes) en ciertas ocasiones el papel del clima puede no resultar evidente (Birkelad, 1984).

Por otra parte, debemos tener en cuenta, la posibilidad que el horizonte cálcico que observamos en un suelo se formase en el pasado, bajo condiciones climáticas muy diferentes de las actuales. En cualquier caso, los carbonatos juegan un papel muy importante en las regiones áridas hasta el extremo que el proceso de carbonatación puede ser considerado el más representativo de estas regiones.

Edad

Está universalmente aceptado que el proceso de formación de carbonatos es rápido, pero su evaluación cuantitativa es muy difícil ya que intervienen numerosos factores climáticos (cantidad y distribución de precipitación, evapotranspiración, temperatura) y edáficos (disponibilidad de calcio, permeabilidad, solución del suelo) están involucrados en su desarrollo.

Origen

Los carbonatos generalmente derivan directamente del material original y ocasionalmente se forman por alteración de minerales presentes en la roca madre (en ambos casos se dice que son autóctonos). En otros casos, los carbonatos proceden de fuentes externas, por ejemplo, transporte por viento o agua (alóctonos).

✓ Autóctonos

Los carbonatos proceden del material original bien porque estuvieran presentes en él, que es el caso más común, o porque, aunque no estén físicamente presentes en la roca, se han neoforado en el suelo a consecuencia de la alteración de los minerales primarios, como puede ser el caso de plagioclasas, piroxenos y anfíboles.

✓ Alóctonos

Los carbonatos no tienen relación genética alguna con el material original. Su origen se debe a una contribución externa bien han sido transportados por el agua, como consecuencia de una contaminación de una capa de agua regional o son debidos a una escorrentía local, tan importante en áreas montañosas. Finalmente, en algunos casos, especialmente en las regiones áridas, los carbonatos pueden tener un origen eólico (Dorransoro-Fernández, *et al.*, 2004).

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica

La investigación se desarrolló durante los meses de octubre de 2016 a marzo de 2017 en la Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida (CCSF) “Juan Manuel Romero García,” perteneciente al municipio Calixto García, ubicada en el Consejo Popular Buenaventura 1, al oeste de la Provincia de Holguín en la cabecera municipal y atravesada de este – oeste por la Carretera Central que la divide en dos zonas, norte y sur. La CCS limita al norte con la CCS Adolfo Rivera y el Consejo de San Agustín, al oeste con el poblado de Buenaventura, al sur con la CPA Ruberlando Pérez, la CCS Pedro Rogena y Sabanaso, al este con la Empresa Pecuaria Calixto García en el Consejo Popular Casimba y la CPA Guiller món Moncada en Guayabo.

Extensión superficial

En los últimos años el área de la cooperativa se ha mantenido estable. La misma tiene una extensión territorial de 628.61 ha; 11,3 ha de cítricos y frutales; 13,62 ha corresponden a instalaciones y viales; 158,49 ha de cultivos varios y 445,2 ha destinadas a la ganadería.

Las fincas de los campesinos se encuentran dispersas en diferentes zonas: Mananina o Villa Magali, Buenaventura, Irene, Cuatro Caminos, Los Itabo y Cruce de Mir, siendo estas las zonas de estudio.

Clima

La tendencia de las variables precipitaciones es a decrecer en los últimos años, mientras que las temperaturas promedio muestran un incremento. Figuras 1y 2

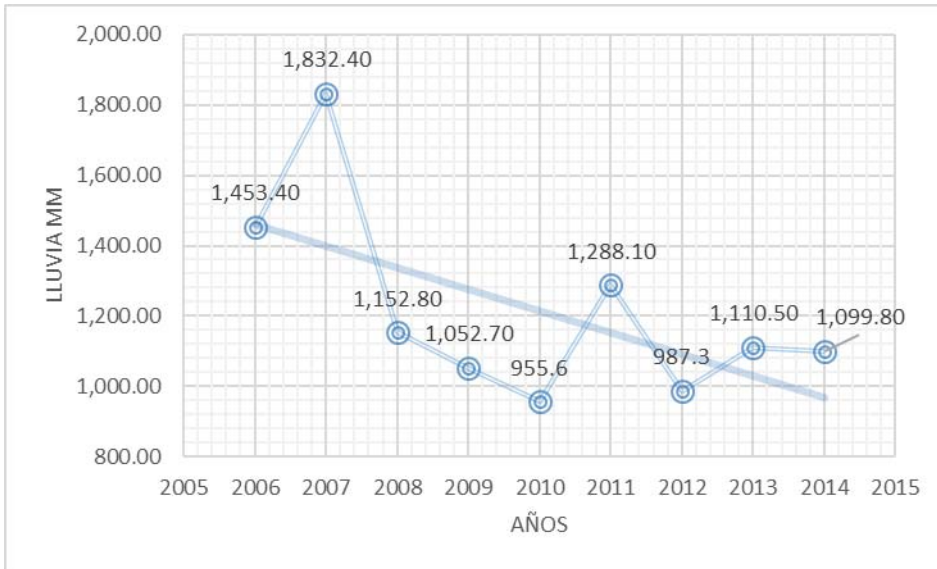


Figura 1. Promedio de precipitaciones acaecidas en el período 2005 a 2014, pluviómetro Estación agro meteorológica "La Jíquima".

Fuente: Anuario estadístico municipio Calixto García 2015.

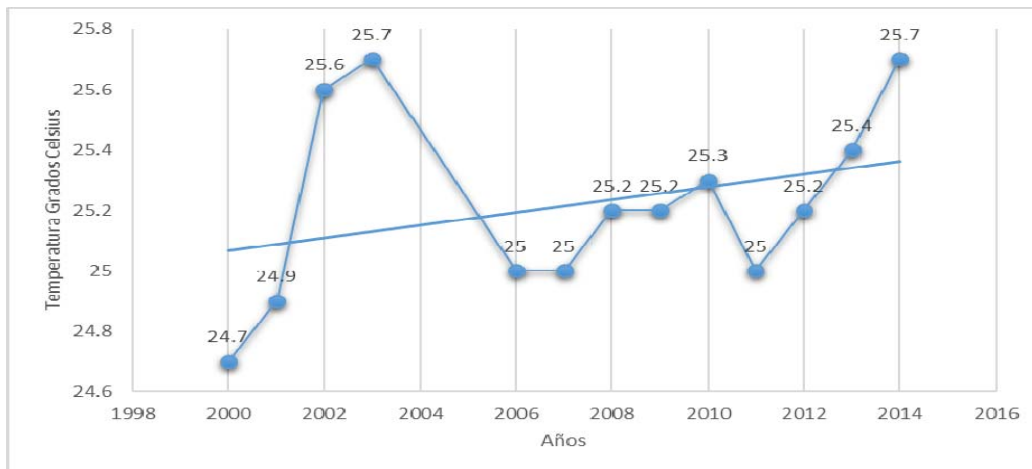


Figura 2. Promedio de temperaturas de los años 2000 a 2014, Estación Agro meteorológica de "La Jíquima".

Fuente: Anuario estadístico Municipio Calixto García 2015.

Estas condiciones de altas temperaturas y bajas precipitaciones influyen de forma negativa en la producción agropecuaria de la cooperativa, afectan notablemente al suelo y contribuyen a la mala calidad del agua.

Tipos de Suelos predominantes en la zona de estudio

Donde se ubican las fincas existen dos tipos de suelos fundamentales: fersialítico pardo rojizo y pardo con carbonato. Estos presentan una fertilidad media, encharcamiento en algunas zonas y algunas áreas de salinidad. La topografía se caracteriza por ser mayormente llana, trayendo como consecuencia los factores antes descritos, provocando así drenajes lentos en los suelos. La cooperativa no dispone de estudios de suelos recientes. Como factores limitantes de los mismos encontramos: profundidad efectiva, poca fertilidad, erosión y pedregosidad.

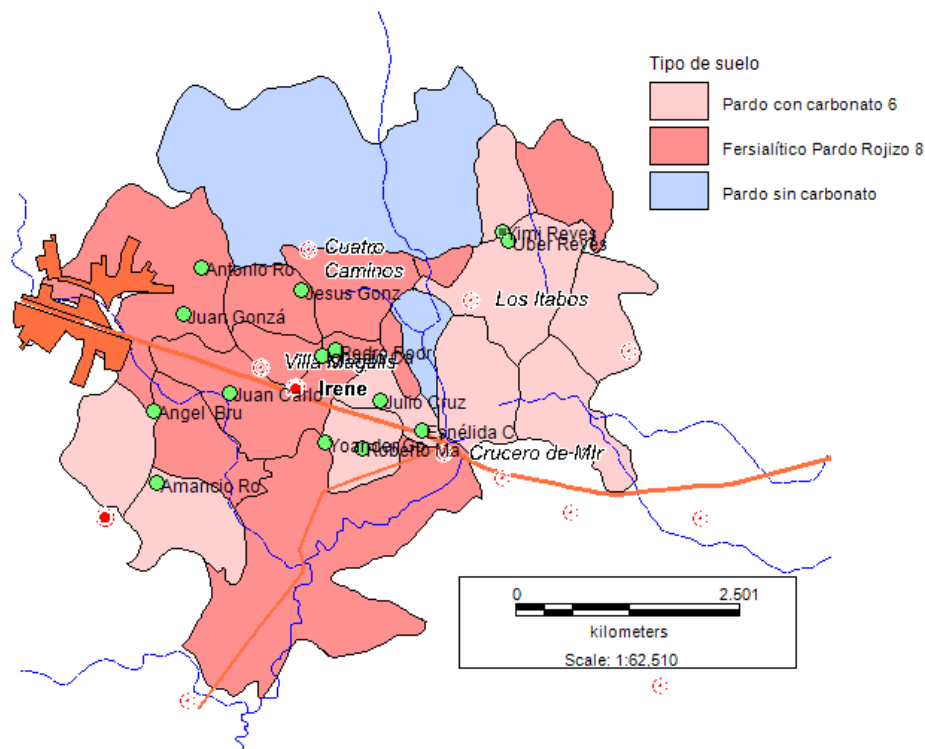


Figura 3. Tipo de suelo de las fincas muestreadas.

Fuente: Mapa de Clasificación de Suelo. Segunda clasificación de los suelos de Cuba 1:2500.

Actividades desarrolladas

Las diferentes acciones desarrolladas en la cooperativa fueron: sensibilización, toma de muestras de suelo y agua de riego, tratamiento estadístico de los datos recogidos, redacción de un informe y definición del plan de acción.

Acercamiento a la Cooperativa y Sensibilización

Se partió de la visita al Municipio Calixto García, para realizar un acercamiento panorámico a la problemática de la salinidad, estableciendo vínculos con las investigaciones y trabajos desarrollados en la CCS. Se contactó con profesores y directivos del Centro Universitario Municipal (CUM), la Dirección Municipal de la Asociación de Agricultores Pequeños (ANAP) y el extensionista del municipio, a los que se les comunicó el plan de trabajo previsto, los objetivos de la investigación y se les pidió su colaboración.

Se contactó al presidente de la cooperativa, quedando establecida una visita de sensibilización a sus productores en el marco de la Asamblea General, donde se planteó los aspectos de importancia de la investigación, surgidos a partir de los problemas de salinización del municipio y la demanda de la junta directiva de la cooperativa. De esta manera se concientizó a la masa campesina y a los directivos presentes de la necesidad de este estudio, se les pidió su compromiso y disposición con la tarea.

Trabajo de campo

Se tomaron de 2 a 4 muestras de suelo en 14 fincas, según la técnica de muestreo no probabilístico (Cochran, 1973), teniendo en cuenta las necesidades del productor, el área cultivada, la extensión superficial total y la observación de las características y estado físico-químico del suelo. Para la extracción se utilizó una barrena, tomando muestras individuales clavándolo de forma vertical en el terreno hasta que quedo cubierta la media caña. Al sacar el instrumento se extrajo el cilindro de tierra ayudando por un punzón, donde fueron tomados 250 g de suelo por muestra a una profundidad de 20 cm. El suelo fue depositado en bolsas de polietileno de 13 cm de ancho por 20 cm de largo, para un total de 46 muestras, las que fueron etiquetadas con el nombre del productor, la ubicación geográfica y el número de la muestra.

De las zonas estudiadas solo 8 productores de un total de 14 contaban con riego y las fuentes de abasto procedían del río La Rioja y de 5 pozos artesanales. A los que contaban con riego se les tomaron muestras de agua directamente de las

fuentes de abasto, según la NC ISO 10523: 2016 publicada por la ISO en 1994 (NC, 2016). Para ello se utilizaron recipientes de cristal esterilizados de 60 ml, para un total de 6 muestras etiquetadas con: el número de muestra, nombre del producto, ubicación geográfica y la procedencia de la fuente de abasto, en ocasiones común para varios productores.

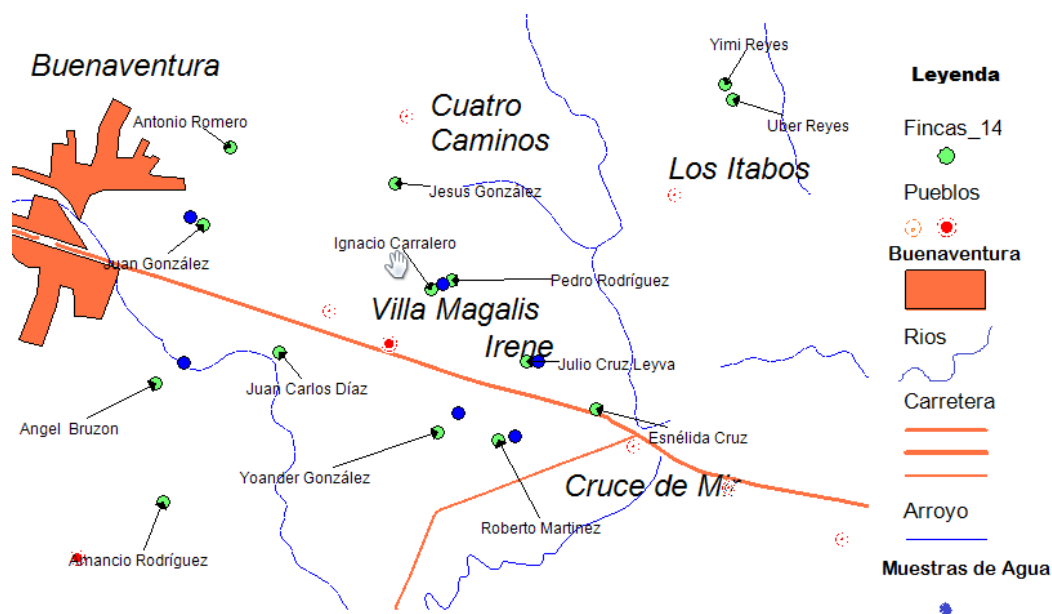


Figura 4. Ubicación de las fuentes de abasto y las fincas de los productores.
Fuente: Elaboración Propia.

Las muestras extraídas de agua y suelo se relacionaron con la localización exacta donde fueron tomadas, para lo que se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) mediante el software SD Locus – Maps.

Trabajo de laboratorio

Las muestras de suelo y agua fueron analizadas en el laboratorio de Química de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”. La determinación de carbonato de calcio en el suelo se realizó según el método cualitativo de (Dorronsoro, Aguilar, y Fernández, 1998) o prueba del carbonato, para ello se contó con un gotero y una solución de ácido clorhídrico al 10 %. Una vez detectada la presencia de carbonatos, se procedió al análisis de las muestras de agua de riego y suelos para determinar la conductividad eléctrica y el pH.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire por 24 horas; maceradas en un mortero de porcelana hasta obtener un tamaño de partículas adecuadas; pasadas por un tamiz de 2 mm de malla donde se obtuvo 200 g de suelo, pesado en una balanza técnica Sartorius modelo BP 221S con un nivel de error de $\pm 0,01$ g. El suelo se trasvasó a placas petri de cristal, donde se les añadió por los bordes del recipiente con una pipeta de 25 ml de 50-100 ml de agua destilada (dependiendo del contenido de arcilla del suelo) con $CE < 0,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y $\text{pH} > 5,6$ (agua grado 2 de acuerdo con NC-ISO 3696), libre de CO_2 y se mezcló con el suelo hasta que se obtuvo una pasta saturada. Las pastas se prepararon en el horario de la tarde y se dejaron en reposo por 2 horas; al llegar a dicho punto se comprobó que no se acumula agua sobre la superficie o estuvieran rígidas, para dejarse en reposo toda la noche.

Al día siguiente se procedió al filtrado con papel de filtro de 7,0 cm previamente humedecido, un embudo Buhner, un kitasatos y una bomba al vacío. El extracto de saturación fue trasvasado a una pipeta donde se obtuvo un promedio de 25ml por muestras, a las que se les determinaron los indicadores de conductividad eléctrica con un Conductivity Master Modelo EC 215, de nacionalidad China previamente calibrado con solución estándar de (fixanal de $c(\text{KCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$, de acuerdo con las instrucciones del fabricante) y pH con un pH Master Modelo PHSJ-3F, marca Hanna, previamente calibrado con soluciones buffer de ($\text{pH} = 4,0; 7,0$ y $9,0$) según la NC 32:2009 (NC, 2009).

Como la CE aumenta aproximadamente un 2% por cada $^{\circ}\text{C}$ de temperatura y el pH un 8 %, se refirieron todos los valores a una temperatura de 25°C para lo cual se usan tablas de conversión de valores (Hernández-Araujo, 2011).

Para ambos equipos la compensación de temperatura fue de $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ para un nivel de error de ± 1 %

Las muestras de agua fueron analizadas directamente con los mismos equipos y se les midieron los mismos indicadores según NC-ISO 3696:2004 (NC, 2004)

Análisis y procesamiento de datos

Los puntos tomados a partir del GPS, fueron exportar al software DNRGPS que creó una base de datos con las coordenadas tomadas, para poder ser analizadas por el software de creación de mapas MapInfo Professional® 10.5 y vinculados a las fotos satelitales del Google Earth.

Los datos obtenidos en el laboratorio fueron procesados con el Microsoft Office Excel 2016 para crear bases de datos que se asociarían al MapInfo y vincularían al Mapa de Clasificación de Suelo. Segunda clasificación de los suelos de Cuba 1:2500 (Instituto de Suelo, 1980), generando mapas temáticos que revelarían patrones en los datos.

Resultados y discusión

Conductividad eléctrica del Agua

La concentración de sales en agua (figura 5), varía en las diferentes zonas de estudio. De acuerdo con la (NC, 2011) el agua de riego, tomando en cuenta el tipo de suelo, en este caso fersialítico pardo rojizo y pardo con carbonato, (Istituto de Suelo, 1980), se clasifica en Categoría I, II y III. De las fuentes de abasto estudiadas, la muestra 6, procedente del Cruce de Mir, es la menos afectada, con $CE=0,781 \text{ dS.m}^{-1}$, Categoría I (agua adecuada para el riego). Las restantes zonas muestran CE de la Categoría III, (agua de fuertes restricciones para su uso) siendo la muestra 5, en la parte Sur de Irene, el área más afectada con $CE=3,521 \text{ dS.m}^{-1}$. El elevado contenido de sales de estas aguas provoca, sin duda, problemas de salinidad en el suelo, restringiendo su uso a cultivos muy resistentes o en suelos con buen drenaje, siempre aceptando que el suelo se vuelva salino en mayor o menor grado.

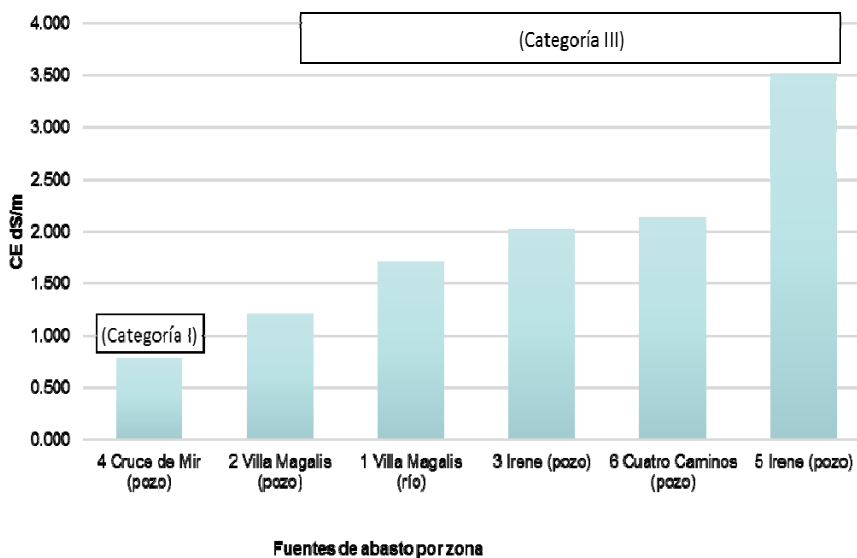


Figura 5. Conductividad eléctrica dS.m^{-1} de las fuentes de abasto de agua en las fincas estudiadas.
Fuente: Elaboración propia.

La alta concentración de sales del agua de riego puede estar relacionada con su procedencia. (Gracia-Navarro, 2005), afirma que todas las aguas subterráneas poseen en mayor o menor medida más sales disueltas en forma de cloruros, sulfatos y bicarbonatos unidos a cationes como sodio, calcio, magnesio y potasio que las aguas superficiales. Estas obedecen al contacto prolongado, en condiciones favorables con los minerales de la meteorización de diferentes tipos de rocas, que luego son arrastrados y disueltos con el agua que se mueve a través de los perfiles de suelos y sedimentos.

(Aceves, 1979) coincide en que la fuente original de las sales del agua, es de los minerales primarios que se encuentran formando las rocas que constituyen la corteza terrestre. La tierra y las rocas descargan iones en el agua que fluyen a través y por encima de ella incrementando su concentración.

En la fuente de riego, procedente del río, la elevada concentración puede estar determinada por la sequía característica del mes de diciembre, momento de la toma de muestra.

Los menores caudales de ríos concentran más las sales, lo que se marca con mayor fuerza en zonas donde prevalece la sequía. Además el agua dulce que se pierde por evaporación aumenta la conductividad y la salinidad de la masa de agua por efecto del no lavado de las bases del suelo. Ambos procesos se traducen en incrementos en la CE (Sierra, 2016).

La fuente de abasto de $CE = 3,521 \text{ ds.m}^{-1}$ puede estar afectada debido a la salinización secundaria causada por el hombre. (Best y Zamora, 2008) refiere que la extracción excesiva de agua de los pozos en época de sequía, puede motivar un enriquecimiento de sales que hace inadmisibles su utilización.

pH del Agua

El pH en agua (Figura 6) se mantiene estable casi en la totalidad de las fuentes de abasto con el rango (7,5 - 7,6), clasificándose como pH ligeramente alcalino, mientras que la muestra 2 con valor (8,9) presenta un pH alcalino, siendo la de fuente de abasto más afectada (NC, 2010).

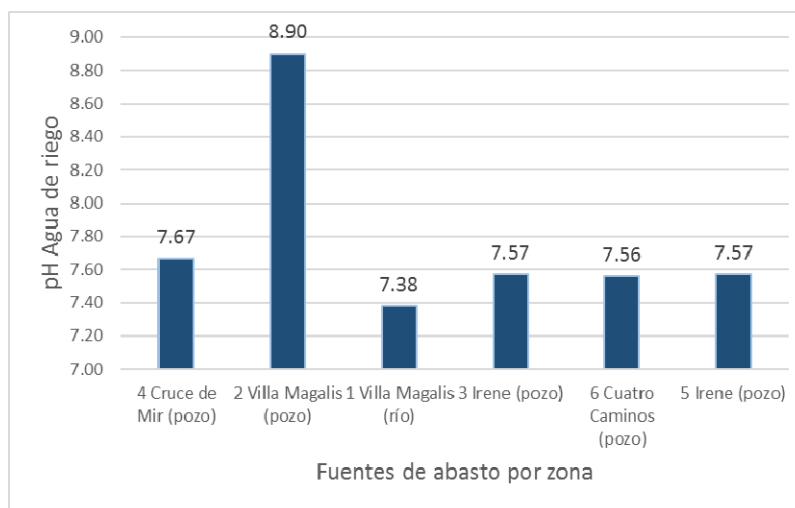


Figura 6. pH de las fuentes de abasto de agua en las fincas estudiadas.

Fuente: Elaboración propia.

El incremento del pH puede estar determinado por la presencia de suelos calcáreos con afloramientos de piedra caliza, donde el desgaste químico, la mineralización, y el intercambio de iones es significativo; la mayor parte de la acidez en estos suelos es neutralizada por el sistema amortiguador de ácido carbónico (Suarez, Wood, y Lesch, 2006).

La alcalinidad en el agua, tanto natural como tratada, usualmente es causada por la presencia de iones carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-), asociados con los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} (Figura 8).

Según Sela (2015) el pH influye en la solubilidad de los fertilizantes, las formas iónicas de los elementos, la disponibilidad de los nutrientes a las plantas y la estabilidad de los quelatos. Un agua con un pH demasiado alto, puede resultar en

deficiencias de nutrientes y puede producir la obstrucciones de emisores, debido a la precipitación de sales.

Presencia de carbonato de Calcio

La distribución espacial del carbonato de calcio (figura 7), según el método cualitativo (Dorronsoro, *et al.*, 1998), clasifica en la mayoría de las áreas la acumulación de carbonatos de ligeramente calcáreo a no calcáreo (colores verde y azul), con Cuatro Caminos, Irene y Cruce de Mir como zonas menos afectadas. Mientras que Villa Magalis y Los Itabos presentan suelos de moderadamente a altamente calcáreo (colores amarillo y rojo), siendo las zonas de mayores afectaciones.

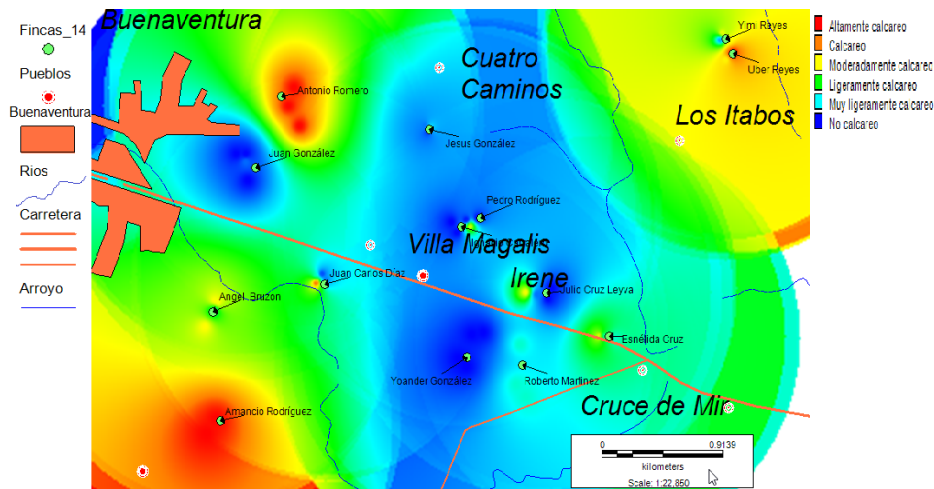


Figura 7. Distribución espacial del carbonato de calcio en las zonas de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

El incremento en zonas determinadas, en parte coincide con la saturación de las bases mostrada en la (Figura 8) procedente del Mapa de Clasificación de Suelo 1:2500. Segunda clasificación de los suelos de Cuba (Instituto de Suelo, 1980), manifestando el bajo nivel de lavado de las bases en el suelo.

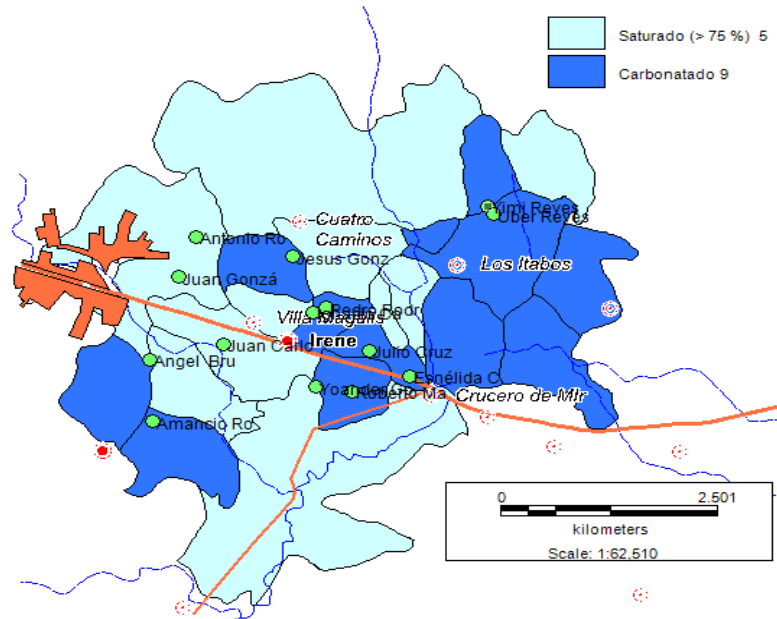


Figura 8. Comportamiento de la saturación de las bases en los suelos de la zona de estudio.
Fuente: Mapa de Clasificación de Suelo 1:2500. Segunda clasificación de los suelos de Cuba.

Según el Mapa de clasificación de suelos. Segunda clasificación de los suelos de Cuba 1:2500 (Instituto de Suelo, 1980) el material de origen en las zona donde se encuentran las fuentes de abasto procede en su mayoría de rocas sedimentarias ricas en calcio (Figura 9).

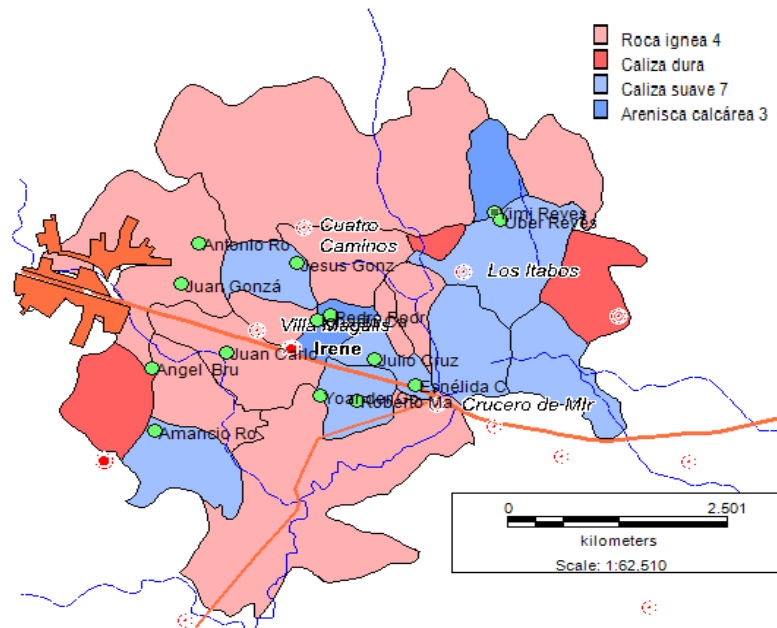


Figura 9. Material de origen de los suelos en las fincas seleccionadas.
Fuente: Mapa de Clasificación de Suelo. Segunda clasificación de los suelos de Cuba 1:25000.

El material de origen (Figura 9), muestra que la causa fundamental radica en, la presencia de carbonatos libres de origen residual o secundario en el perfil del suelo, siendo su fuente principal las rocas sedimentarias ricas en carbonatos presentes en las zonas de estudio, calizas suaves como rocas predominantes, seguida de las ígneas y las areniscas calcáreas. Esto puede explicar parte del aumento en la concentración de calcio y con ello el carbonato, debido a que el material calcáreo que reside en las rocas, al ser afectado por la meteorización, libera los elementos que las constituyen.

Según Dorronsoro-Fernández *et al.* (2004) en la mayoría de los casos la roca madre constituye la fuente inicial de carbonatos, porque ya estaban presentes en ella o, aunque originalmente no lo estaban, se han formado en el suelo por alteración de los minerales primitivos ricos en calcio.

(Best y Zamora, 2008) refiere que generalmente la formación de carbonatos se relaciona con la presencia de suelos jóvenes, poco profundos y con régimen de poco lavado, formados sobre materiales calcáreos.

Otra causa puede ser las escasas precipitaciones (1110,50 - 1099,80 mm de lluvia) y el incremento de la temperatura (25,4 - 25,7 °C) en los últimos años (CITMA, 2015).

(Birkelad, 1984) refiere que pocas precipitaciones son generalmente insuficiente para eliminar los carbonatos del perfil produciendo la correspondiente precipitación e inmovilización de los mismos.

La solubilidad de los carbonatos decrece cuando aumenta la temperatura y por eso la movilidad de los carbonatos será menor en climas cálidos (Dorronsoro, Aguilar, y Fernández, 1996).

pH del suelo

La distribución espacial del pH en el suelo (figura 10), pone de manifiesto la alcalinización del perfil de suelo en la totalidad de las muestras. Según Yague (1994), los valores de pH de 8,3 - 8,4, representados con los colores (verde y azul) en la zona Norte de Cuatro Caminos, Cruce de Mir, Villa Magalis e Irene se clasifican como pH medianamente alcalino, respecto a la zona Sur del municipio, Villa Magalis e Irene, con excepción de los Itabos al Norte donde los valores de 8,5-9,0 muestran pH fuertemente alcalinos.

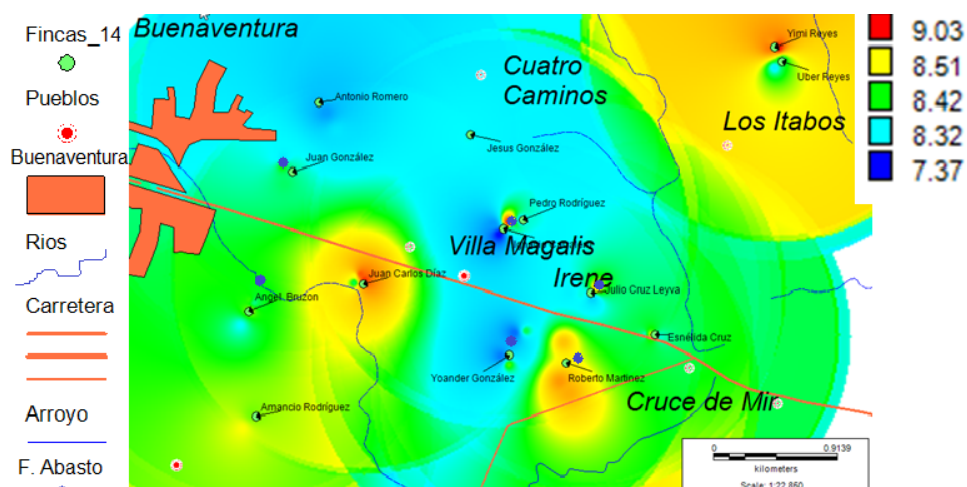


Figura 10. Distribución espacial del pH en el extracto de saturación de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

Este comportamiento del pH de los suelos está relacionado en parte con la distribución espacial del carbonato de calcio, el material de origen del suelo y el pH alcalino de determinadas fuentes de abasto. Las zonas que muestran pH más alcalinos coinciden con suelos altamente calcáreos donde el material de origen fundamental son las calizas suaves y el pH del agua es de 7,6 a 8,9.

Según Suarez *et al.* (2006) el pH del suelo puede llegar hasta 8.5 o más debido al incremento del carbonato de calcio en el suelo asociado a la presencia de suelos calcáreos con alto contenido de carbonatos (CO_3^{2-}) libres de Ca^{2+} y Mg^{2+} y a fuentes de riego de constituyentes alcalinos.

Cuando el suelo tiene alta saturación con Ca y pH del orden de 7.2 o superior, en equilibrio con CO_3Ca , puede aumentar la actividad del anión bicarbonato y producirse los suelos “Calcáreo” o “Alcalino cálcico” (Best y Zamora, 2008).

Los cambios en el pH afectarán al sistema, un aumento del pH disminuye la concentración de CO_2 disminuyendo proporcionalmente la acidez y la disolución de los carbonatos, favoreciendo su acumulación, estableciendo una relación de proporcionalidad entre ellos (Dorronsoro, Aguilar, y Fernández, 1996).

Los valores registrados por encima de 8,5 indican invariablemente la presencia de sodio en el suelo. Según Fireman y Wadleigh (1951), cuando el pH se encuentra por encima de 8.5 el carbonato cálcico se encuentra precipitado y podría intervenir en caso de acidificación pero no en el caso de basificación. En estos casos el papel del calcio es sustituido por el sodio, siempre presente a esos valores de pH.

Conductividad eléctrica del suelo

Por la CE del extracto de saturación ($0,1568 - 0,6203 \text{ dS.m}^{-1}$) la totalidad de las muestras se clasifican como suelos no salinos (NC, 2010).

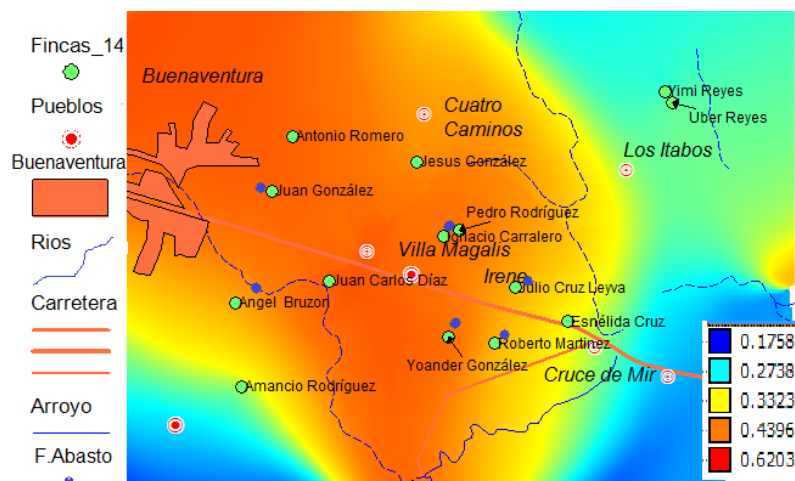


Figura 11. Distribución espacial de la Conductividad Eléctrica (dS.m^{-1}) del suelo en el extracto de saturación

Fuente: Elaboración propia.

Al observar la distribución espacial de la CEE del suelo en las zonas estudiadas (figura 11), y relacionarlas con los valores obtenidos en el agua se aprecia un ligero

incremento de la misma representado con los colores (amarillo y rojo) en las áreas donde se utiliza riego con agua de mala calidad respecto a las áreas donde no se utiliza riego colores (verdes y azul).

(Ayers y Westcot, 1987) afirman que la magnitud de la acumulación de sales en el suelo depende de la calidad del agua, porque el problema se presenta cuando esas aguas evolucionan en el suelo, debido a que la evapotranspiración disminuye la humedad del suelo, pero no elimina las sales, haciendo que la solución del suelo se haga más salina a medida que se seca alcanzando valores elevados.

Independientemente de alta concentración de sales del agua, los suelos en la totalidad de las muestras no muestran ser afectados por este factor, esto puede estar asociado al tipo de arcillas presentes en las zonas estudiadas.

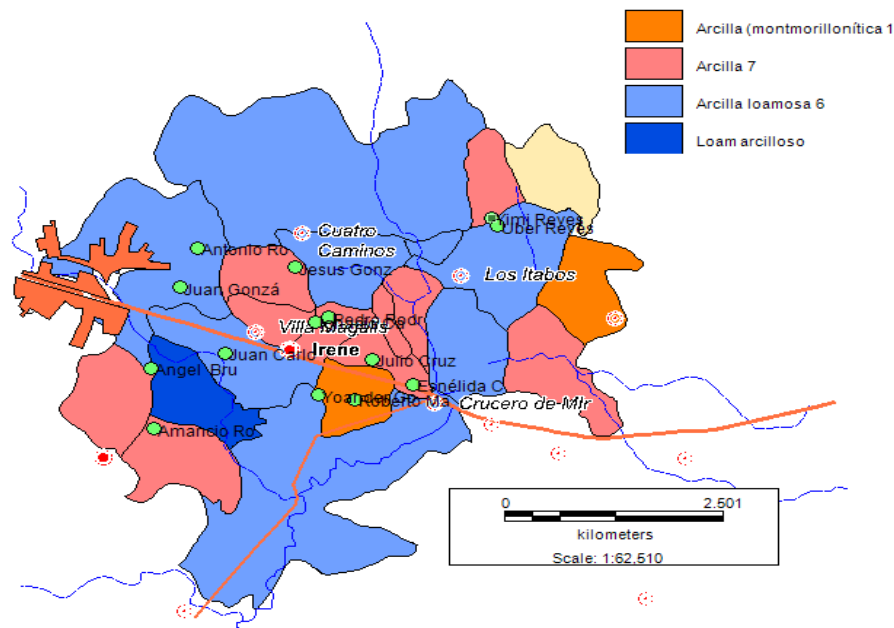


Figura 12. Distribución espacial del tipo de arcillas presentes en las zonas de estudio.
Fuente: Mapa de Clasificación de Suelo. Segunda clasificación de los suelos de Cuba 1:2500.

La distribución espacial del tipo de arcillas (Figura 12), representa con el color (rosa y azul) la predominancia de la ilita y caolinita sobre las montmorillonita y el loam, según el Mapa de Clasificación de Suelo 1:2500. Segunda clasificación de los suelos de Cuba (Instituto de Suelo, 1980). Estas características físicas de los suelos intervienen en las propiedades de absorción de agua del suelo.

Las caolinitas e ilitas son arcillas que presentan una capacidad de intercambio catiónico de bajas a media, poco expansivas, moderadamente plásticas y bastante permeables por la abundancia de macroporos que facilita el movimiento gravitacional del agua desde la superficie hasta las diferentes profundidades (García-García, 1997).

Cuando el agua llega a las capas más profundas debido a la buena permeabilidad del suelo y se pone en contacto con el manto freático, las sales se mueven con las del manto freático, en algunos sitios este movimiento es lento por lo que la salinidad del suelo tiende a equilibrarse y no se produce su acumulación en las capas superficiales del suelo (Gracia-Navarro, 2005).

Las montmorillonita por otra parte según Rozalén-Astudillo (2006) presenta una capacidad de intercambio catiónico elevada de unos 120 me/100gr, lo que las hace muy expansivas, muy plástica y se contrae al secarse, mejorando su resistencia y haciéndola impermeable.

Cuando la velocidad de infiltración del agua de riego se reduce apreciablemente, el agua permanece sobre el suelo durante un tiempo demasiado largo, o se infiltra muy lentamente, sin producirse la renovación del agua consumida por el cultivo se incrementa la concentración de las sales y surge la costra salina producto a la evaporación (Cortés-D, Pérez-B, y Camacho-Tamayo, 2013).

Por ello en las fincas ubicadas en la zona Sur de Irene donde se encuentra la arcilla montmorillonita de características expansivas, plásticas y poco permeables, es donde mayor cuidado se debe tener con la incorporación de agua de riego de mala calidad, sobre todo porque una de sus fuentes de abasto es la de mayor CE obtenida.

Es evidente que el proceso de salinización no es debido a un factor aislado, sino a la interacción de varios factores, los cuales son de mayor o menor importancia en los diferentes sitios. Los factores que intervienen para la región estudiada son: clima (seco), geología (rocas de origen sedimentario), agua de riego (salinizada) e inadecuado manejo de los recursos agua y suelo.

Análisis económico

Por afectaciones en los suelos y el aguas de riego relacionados con la salinidad de las zonas evaluadas, se estima que los rendimientos decrecen entre un 20 y un 30 % de forma general en todos los cultivos. A partir de medidas que pueden ser tomadas por los agricultores en sus fincas, estos rendimientos se pueden incrementar en un 12 %, (Figura 13).

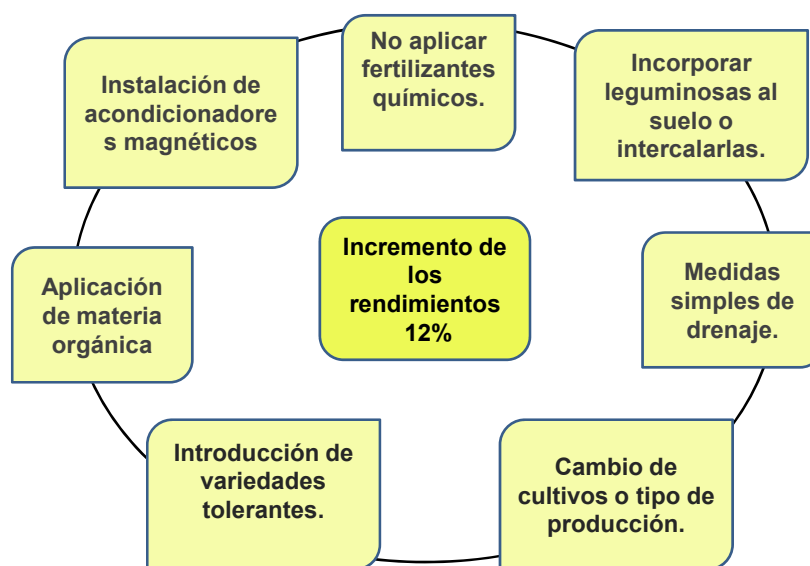


Figura 13. Medidas de manejo en suelo y agua para incrementar los rendimientos en las zonas afectadas por salinidad

Fuente: Elaboración propia

Ejemplificando el cultivo del tomate y la instalación de un magnetizador para mejorar la calidad del agua de riego (Tabla 1), se pueden incrementar los rendimientos en un 12 % a partir de los rendimientos alcanzados en estas condiciones (80 %), obteniendo ganancias de aproximadamente 2608 \$/ha en cada cosecha que se realice. Cada finca puede adaptar las medidas de acuerdo con las condiciones de las que dispone, lo que se hace más rentable el mejoramiento.

Tabla 1. Análisis económico, ejemplo del cultivo tomate.

Indicadores en el cultivo del Tomate	Valores
Rendimiento (Kg/ha) obtenido bajo las condiciones locales, respecto al rendimiento potencial de 40000 kg/ha.	32000
Valor de la producción real (\$), respecto al rendimiento potencial de 48000 CUP.	38400
Incremento del rendimiento en un 12 % con el uso de agua magnetizada (Kg/ha)	3840
Costo del acondicionador magnético (\$)	2000
Ganancia del 12 % con el uso del magnetizador (\$/ha).	2608

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

1. Las fuentes de agua de riego en su mayoría, de acuerdo con la conductividad eléctrica se clasifica como agua de fuertes restricciones para su uso, con pH de ligeramente alcalino - alcalino, siendo inadecuadas para el riego.
2. Los valores de conductividad eléctrica del suelo en el extracto de saturación permitieron catalogar los suelos como no salinos, con un pH de moderadamente alcalino - alcalino.
3. Los Itabos, la parte norte de Irene y al sur de Villa Magalis, son las zona mas afectadas por altas concentración de carbonato, poniendo de manifiesto la presencia de suelos calcáreos.

Recomendaciones

1. Profundizar los estudios de suelo y agua en la cooperativa y extrapolarlos a todas las fincas.
2. Implementar medidas simples de manejo de suelo y agua en las fincas y evaluar sus resultados.
3. Continuar el trabajo en la CCS sobre la base de la agricultura de precisión.

Bibliografías

- Aceves, E. (1979). El ensalitramiento de los suelos bajo riego. México.
- Almaguer-Pérez, N. (2015). Diagnóstico Agrario del municipio Calixto García, actualización año 2014. Holguín
- Ariza, F. J. A. (2012). Salinidad y vegetación. In C. Commons (Ed.), Geobotánica (pp. 9). Murcia: Universidad de Murcia España.
- Arteta, R. L. (2007). Carbonatos del suelo. Curso de Diagnostico de Suelos en el Campo, 1 mayo, 2007
- Ayers, R. S., y Westcot, D. W. (1987). Calidad del agua para la agricultura, Estudio FAO de Riego y Drenaje No. 29 Roma.
- Best, S., y Zamora, I. (2008). Tecnologías aplicables en Agricultura de Precisión. Uso de tecnología de precisión en evaluación, diagnóstico y solución de problemas productivos. Santiago: Fundación para la Innovación Agraria.
- Birkelad, P. W. (1984). Soil and Goemorphology. Paper presented at the Oxford University Press.
- CITMA. (2015). Anuario estadístico Municipio Calixto García. Holguín: Dirección Provincial de Meteorología
- Cochran, W. G. (1973). Técnicas de muestreo México: Compañía Editorial Continental, S.A.México
- Coira-Vega, I. G. (2002). Efecto de gramíneas forrajeras, en la recuperación de suelos marginados por salinidad en la manzana 1517 del Valle del Yaqui, Sonora Unpublished Ingeniero Biotecnólogo Instituto Tecnológico de Sonora, Obregón
- Cortés-D, D. L., Pérez-B, J. H., y Camacho-Tamayo, J. H. (2013). Spatial relation between Electrical Conductivity and some chemical soil propierties U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, 16 (2), 401 - 408
- De la Peña, I. (1980). Salinidad de los suelos agrícolas: su origen, clasificación, prevención y recuperación. SARH. Boletín técnico #10.
- Dorronsoró-Fernández, C., Stoops, G., Aguilar, J., Dorronsoró-Díaz, C., Fernández, J., Díez, M., et al. (2004). CO3 Sols. Carbonatos en suelos Unpublished Programa

sobre el proceso de acumulación y lavado de los carbonatos y de los rasgos resultantes de su actuación en los suelos. Universidad de Granada.

Dorronsoró, C., Aguilar, J., y Fernández, J. (1996). Interactive computer programme for demonstration of micromorphological aspects of calcification processes in soils. Paper presented at the Ponencia presentada en 10th Int Working Meeting on Soil Micromorphology.

Dorronsoró, C., Aguilar, J., y Fernández, J. (1998). Carbonate in Soils. . Paper presented at the 16th World Congress of Soil Science., Montpellier.

Estupiñan, J. P. M., Veitía, S. C., Escobedo, M. d. C. V., y González, F. M. (2002). Compendio de Agronomía 2da parte La Habana

Fassbender, H. W. (1982). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. In I. I. d. C. p. I. Agricultura (Ed.) (pp. 398). San José.

Fassbender, W. (Ed.). (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. . Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Fernández, C. M., y Sánchez, Y. S. (2011). Taller sobre Aguas subterráneas y Contaminación. Paper presented at the Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, geociencias, La Habana.

Fireman, M., y Wadleigh, C. H. (1951). A statistical study of the relation between pH and the exchangeable sodium percentage of western Soil. Soil Science., 71(4), pp 273-285.

García-García, C. P. (1997). Algunos análisis físico-químicos para la identificación de los minerales componentes de una arcilla Universidad Nacional de Colombia Medellín.

Gracia-Navarro, A. (2005). Programa de Gestión y conservación del suelo. Paper presented at the Ciclo de Ciencias Ambientales.

Hernández-Araujo, J. A. (2011). Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos Unpublished Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Madrid.

Instituto de Suelo (Cartographer). (1980). Mapa de Clasificación de Suelo .Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba 1:25000.

Istituto de Suelo (Cartographer). (1980). Mapa de Suelo1:25000.Segunda clasificación de los suelos de Cuba

- Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a las Ciencias del Suelo Medellín Universidad Nacional de Colombia
- Jaschek, J. (2016). Medidas de sodicidad: RAS Y PSI.
- Lamz-Piedra, A., y González-Ceperoll, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. Cultivos Tropicales, 34, 31-42.
- López., R. C. (2001). Selección y evaluación de combinaciones rizobio-leguminosas pratenses en suelos afectados por salinidad. Unpublished Titulo de Doctor en Ciencias Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- Maiola, O. C. (2012). Manejo y conservación de suelos. Universidad Nacional de la Plata, La Plata.
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M., López-Blanco, J., y Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. E-Bios, 1.
- Mesa, D. (2003). Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 37(3), 217-226.
- Morales, J. P. (2001). Suelo y agroquímica. Tomo1 (María Echevoy Zapata ed.). La Habana: Pueblo y educación.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2004). Agua para uso en análisis de laboratorio. Especificaciones y método de ensayo (Vol. NC-ISO 3696:2004).
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2009). Calidad del Suelo. Determinación pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (Vol. NC 32:2009).
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2010). Calidad del suelo — Evolución de las afectaciones por salinidad (Vol. 776:2010, pp. 17). Ciudad de La Habana.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2011). Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones (Vol. XXX). Ciudad de La Habana. Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2016). Calidad del agua — Determinación de pH [ISO 10523: 1994, IDT] (Vol. NC ISO 10523:2016).
- Ortega, S. F., Peña, F., y Castillo, N. (1986). La salinidad de los suelos de Cuba. Aspectos económicos globales. Ciencias de la Agricultura, 27, 137-144.
- Ortiz, O. (1997). La calidad de las aguas de riego. Universidad Autónoma de Chapingo Chapingo.

- Porta, J., Lopéz-Acevedo, M., y Roquero, C. (Eds.). (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Tercera ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- PROCISUR (Ed.). (2014). Manual de Agricultura de Precisión. Montevideo: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Pujol, P., y Boicet, T. (2000). Evaluación de la calidad del agua de riego sobre el suelo y los cultivos. In Universidad de Granma .Facultad de Ciencias Agrícolas (Ed.). Bayamo.
- Rozalén-Astudillo, M. L. (Ed.). (2006). Mecanismos y velocidad de disolución de montmorillonita en soluciones de electrolitos inertes Granada: Consejo Superior de Investigación Científica Experimental de Zaidin (CSIC).
- Sela, G. (2015). El pH en el agua Retrieved 03 Feb 2017., from <http://go.smart-fertilizer.com//151641/2016-04-25/sl7w>
- Severiche-Sierra, C. A., Castillo-Bertel, M. E., y Acevedo-Barrios, R. L. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros físicoquímicos básicos en aguas. Cartagena de Indias: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso para eumed.net.
- Sierra, C. (2016). Recomendaciones para enfrentar la salinización de los suelos y aguas. Soil Science Society of America. (2001). Glosario de Términos de Ciencia del Suelo. Estados Unidos
- Soil Survey Division Staff. (1993). Soil survey manual (Vol. 18). Washington D. C: USDA.
- Suarez, D. L., Wood, J. D., y Lesch, S. M. (2006). Effect of SAR on water infiltration under a rain-irrigation management system. Agric. Water Manage., 86:150-164.
- USDA. (1999). Clasificación de agua de riego de acuerdo a la conductividad eléctrica In. (Ed.). Estados Unidos Laboratorio de salinidad de los Estados Unidos
- USSL Staff. (1954.). Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. (Vol. Handbook 60, pp. 160 p). Washington DC.: USDA.
- Vázquez, M., Andreau, R., y Gelati, P. (2011). Calidad de agua de riego para la producción bajo cubierta [Versión electrónica]
- Wicke, B., Smeets, E., Dornburg, V., B, B. V., Gaiser, T., Turkenburga, W., et al. (2011.). The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. Energy Environ, 4(2669-2681).

Yague, J. L. F. (Ed.). (1994). El suelo y los fertilizantes (4. ed.). Madrid: Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.

Anexos

Tabla 2. Grado de salinidad de acuerdo al rango de CE de una solución determinada.

Grado de salinidad	Rango
Ligeramente Salino con CE	2-4 mmhos.cm ⁻¹
Moderadamente Salino con CE	4-8 mmhos.cm ⁻¹
Fuertemente Salino con CE	8-15 mmhos.cm ⁻¹
Muy Fuertemente Salino con CE	>15 mmhos.cm ⁻¹

Fuente: (Coira-Vega, 2002)

Tabla 3. Calificación del pH en suelo para dos métodos de determinación.

pH determinado en agua 1:1		pH determinado en KCl 1:1, P:V	
Valor	Calificación	Valor	Calificación
< 3.5	Ultra ácido	<4.0	Extremadamente ácido
3.5 - 4.4	Extremadamente ácido	4.0 - 4.9	Fuertemente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido	5.0 - 5.9	Moderadamente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido	6.0 - 6.9	Ligeramente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido	7.0	Neutro
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido	7.1 - 8.0	Ligeramente alcalino
6.6 - 7.3	Neutro	8.1 - 9.0	Moderadamente alcalino
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino	9.1 - 10.0	Fuertemente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino	> 10.1	Extremadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino		
> 9.0	Muy fuertemente alcalino		
Según (Soil Survey Division Staff, 1993)		Según (H. W. Fassbender, 1982)	

Tabla 4. Sales con incidencia en el estrés salino.

Clase	Presencia en los suelos salinos	Solubilidad g L ⁻¹	Toxicidad para las plantas
Cloruros			
Sódico	Común	264	+++
Magnésico	Común	353	++++
Cálcico	Raro	400-500	++
Potásico	Baja	Elevada	+
Sulfatos			
Sódico	Común	-	++
Magnésico	Común	262	++++
Potásico	Baja	Elevada	+
Carbonato			
Sódico	suelos sódicos	178	+++++
Bicarbonato			
Sódico	suelos sódicos	262	++++

Fuente: (Porta, *et al.*, 2003).

Tabla 5. Análisis Cualitativo de Carbonatos de Calcio con HCl 10 %.

Descripción de campo	Efectos auditivos (audible)	Efectos visibles Efervescencia
No calcáreo. menos del 0.5 %	Ninguno	Ninguna
Muy ligeramente calcáreo 0.5-1.0 %	Da apenas a tenuemente	Ninguna
Ligeramente calcáreo 1-2 %	De tenuemente a Moderadamente	Ligera y localizada en granos individuales apenas visibles
Moderadamente calcáreo 2-5 %	De moderadamente a claramente, se oye lejos del oído.	Ligeramente mayor visible bajo inspección cercana
calcáreo 5-10 %	Fácilmente	Moderada, fácilmente visible, burbujas de hasta 2 mm
Altamente calcáreo 10 %	Fácilmente	Fuerte y generalizada, burbujas en todas partes y hasta de 7 mm

Fuente: (Dorronsoro, *et al.*, 1998).

Lista de abreviaturas, siglas y símbolos

(CCSF) Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida

(CE) Conductividad eléctrica

(CEe) Conductividad eléctrica del estrato

(TDS) Total de Sólidos Disueltos

(PSI) Porcentaje de saturación de sodio intercambiable

(RAS) Relación de adsorción de sodio

(DCD) Doble capa difusa

(CUM) Centro Universitario Municipal.

(ANAP) Asociación Nacional de Agricultores Pequeños.

(USDA) United States Department of Agriculture

(UHo) Universidad de Holguín.

(H/F) Humus /Fulvus