

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO

MAESTRÍA: DESARROLLO AGRARIO SOSTENIBLE

Mención: Manejo agroecológico de ecosistemas frágiles

Tesis en opción al título académico de Máster en Ciencias

**Propuesta para el monitoreo adecuado de un agroecosistema
afectado por salinidad en la zona sur del Valle de Guantánamo**

Marianela Cintra Arencibia

Guantánamo, 2020

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO

MAESTRÍA: DESARROLLO AGRARIO SOSTENIBLE

Mención: Manejo agroecológico de ecosistemas frágiles

**Título: Propuesta para el monitoreo adecuado de un agroecosistema afectado
por salinidad en la zona sur del Valle de Guantánamo**

(Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias)

Autor (a): Lic. Marianela Cintra Arencibia

Tutor (es): Dr. C. Alberto Pérez Díaz. Profesor Titular

Dr. C. Alexander Goicoechea del Toro. Profesor Titular

Guantánamo, 2020

AGRADECIMIENTOS

A mi esposo por ser mi apoyo incondicional.

A mis tutores por dedicarme el tiempo para llevar a feliz término esta maestría.

A mis compañeros de trabajo del Instituto de Suelos en Guantánamo por su apoyo,
criterios y sugerencias.

A todos los que de una forma u otra me acompañaron en esta aventura científica.

DEDICATORIA

A mi esposo e hijos por su paciencia.

A la Dra. Lazara María Otero Gómez por confiar en mí.

A mi madre, donde quiera que esté, por su guía.

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la localidad de Matabajo, en una parcela en la zona sur del Valle de Guantánamo, entre los años 2018 y 2019, con el objetivo de evaluar las afectaciones por salinidad en un agroecosistema. Se realizó un diagnóstico general del área de estudio, a partir del cual se estableció el monitoreo de la salinidad de los suelos, la profundidad del manto freático, así como, la calidad de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas. Se recopilaron las bases cartográficas e informes de la zona, se realizaron recorridos exploratorios para corroborar los factores vegetación, relieve, biodiversidad, hidrología, cobertura del suelo y estado general del área. Las muestras de suelo y agua fueron analizadas en el laboratorio de la Unidad de Ciencia y Técnica de Base (UCTB) del Instituto de Suelos en Guantánamo. Para evaluar la salinidad del suelo se muestrearon 9 puntos en forma de cuadrícula a la profundidad de 1 m y con intervalos de 20 cm. Los resultados obtenidos evidenciaron que un monitoreo ordenado e integrado permite caracterizar detalladamente la afectación por la salinidad en el suelo, definir la diferencia existente entre la conductividad eléctrica (CE) en el agua freática entre los periodos de lluvia y seca. Se definieron los aspectos a tener en cuenta para realizar un monitoreo adecuado para un agroecosistema afectado por salinidad. Se propusieron las indicaciones técnicas para el monitoreo de la salinidad en un área de la zona sur del Valle de Guantánamo.

Palabras clave: indicaciones técnicas, salinidad, monitoreo

ABSTRACT

The investigation was developed in Matabajo location, in a parcel in the southern area of Guantánamo Valley, among the years 2018 and 2019, with the objective of evaluating the salinity affectations in an agroecosystem. It has been made a general diagnosis of the study area, from which it was established the monitoring of soils salinity, the phreatic level depth, as well as, the quality of surface waters and groundwater waters. The cartographic bases and reports of the area were collected; exploratory journeys were carried out to corroborate the factors vegetation, relief, biodiversity, hydrology, soil covering and general state of the area. The samples of soil and water were analyzed in the laboratory of the Base Unit of Science and Technique (UCTB) of the Soils Institute in Guantánamo. To evaluate the soil salinity 9 points were sampled in grid form to the 1 m depth and with intervals of 20 cm. The obtained results evidenced that an orderly and integrated monitoring allows characterizing the detailed affectation for the soil salinity, to define the existent difference among the electric conductivity (CE) in the phreatic water between the rain and dry seasons. The aspects to be taken into account were defined to carry out an efficient monitoring for an agroecosystem affected by salinity. It was proposed the technical indications for salinity monitoring in an area of the southern zone of Guantánamo Valley.

Keywords: technical indications, salinity, monitoring

Glosario de términos

| | |
|-------------|--|
| CAR | Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible |
| CCS | Cooperativa de Crédito y Servicios |
| CPP – OP 15 | Programa de Asociación de País – Programa Operativo 15 |
| DMPF | Dirección Municipal de Planificación Física |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| ICESI | Instituto Colombiano de Estudios Superiores de Incolda |
| IDEAM | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales |
| INRH | Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos |
| IVIA | Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias |
| LADA | Land Degradation Assessment in Drylands |
| MINAG | Ministerio de la Agricultura |
| NC | Norma Cubana |
| NPK | Nitrógeno, Fósforo y Potasio |
| NRAG | Norma Ramal del Ministerio de la Agricultura |
| ONEI | Oficina Nacional de Estadística e Información |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| SECS | Sociedad Española de la Ciencia del Suelo |
| SIG | Sistema de Información Geográfico |
| U.D.C.A. | Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales |
| UNESCO | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y el Deporte |
| USSL | Unites States Soil Laboratory |

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| I. Introducción | 1 |
| II. Revisión bibliográfica | 6 |
| 2.1 El problema de la salinidad y su efecto en los agroecosistemas | 6 |
| 2.2 Los sistemas de monitoreo de la salinidad | 17 |
| 2.3 Los instructivos, indicaciones técnicas y las metodologías como resultado de las investigaciones científicas | 20 |
| III. Materiales y métodos | 24 |
| 3.1 Descripción del área de estudio | 24 |
| 3.2 Diagnóstico | 24 |
| 3.3 Procedimental | 25 |
| 3.4 Conclusiva | 29 |
| IV. Resultados y discusión | 30 |
| 4.1 Diagnóstico del agroecosistema afectado por salinidad en la zona sur del Valle de Guantánamo | 30 |
| 4.1.1 Geología y geomorfología | 30 |
| 4.1.2. Relieve | 30 |
| 4.1.3 Suelos | 31 |
| 4.1.4 Cobertura del suelo | 34 |
| 4.1.5 Evaluación de las variables climáticas | 36 |
| 4.1.6. Sistemas de riego y drenaje | 40 |
| 4.1.7 Calidad del agua superficial | 42 |
| 4.1.8 Calidad del agua subterránea | 44 |
| 4.1.9 Biodiversidad | 44 |
| 4.2 Monitoreo de un agroecosistema afectados por salinidad | 46 |
| 4.2.1 Suelo | 46 |
| 4.2.2 Monitoreo de la calidad de las aguas superficiales | 50 |
| 4.2.3 Monitoreo de la profundidad del manto freático y la calidad de las aguas subterráneas | 51 |

| | |
|--|----|
| 4.2.4 Plan de manejo | 58 |
| 4.3 Indicaciones técnicas para el monitoreo adecuado de la salinidad en un área de la zona sur del Valle de Guantánamo | 59 |
| V. Conclusiones | 62 |
| VI. Recomendaciones | 63 |
| VII. Referencias bibliográficas | |
| Anexos | |

I. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos muy antiguos se conocen los efectos de la acumulación de las sales en los suelos y en los cultivos. Algunas civilizaciones guerreras de Asia Menor utilizaban los efectos de la acumulación de sales para hacer improductivos los suelos de sus enemigos e impedir de este modo el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Existen registros históricos de migraciones que se han producido por la salinización de los suelos (Courel, 2019).

En los últimos 30 años muchos autores han tratado de estimar la extensión de los suelos afectados por sales. FAO (2020), usando el mapa de suelos mundial 1970 – 1980, estimó que globalmente 397 millones de ha están afectadas por salinidad, y por sodicidad, 434 millones de ha. Atendiendo al área total afectada, por regiones se distribuyen como sigue: Asia, Pacífico y Australia (7.1 %), Oriente Cercano (5.9 %), América Latina (5.5 %), Europa (3.9 %), África (3.8 %) y Norteamérica (1.0 %).

En este sentido (Wicke *et al.*, 2011), cuantificaron la extensión de suelos afectados por salinización, ya sean salinos o sódicos, de origen natural y/o inducida por el hombre, en unos 1128 millones de hectáreas. De esta extensión afectada, 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. Esta cuantificación, a diferencia de otras, tiene en cuenta la superficie salinizada debida a factores naturales, desiertos, sistemas lacustres, etc., por eso la superficie afectada se cuantifica por encima de los 1000 millones de ha. Esta cifra es ligeramente superior a las 955 millones de ha estimadas por Szabolcs (1989) y a las 831 millones de ha estimadas por la FAO (2008).

Lamz y González (2013) plantean que la actividad antrópica ha incrementado la extensión de áreas salinizadas al ampliarse las zonas de regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han provocado cambios en la composición de sales en el suelo.

El Portal de Suelos de la FAO (2020), hace referencia a que los suelos afectados por salinidad tienen una concentración de sales más solubles que carbonato de calcio y

yeso afectando el crecimiento de las plantas. La presencia de las sales afecta la asimilación de nutrientes por las plantas y la actividad microbiana del suelo.

Según el Anuario Estadístico de Cuba (ONEI, 2017), el país, con 6 300,0 miles de hectáreas de suelos cultivables, presenta una afectación equivalente al 14,9 % de su área, por lo que sin dudas es un factor a considerar entre los fenómenos degradantes de la fertilidad de los suelos cubanos.

Aspecto de importantísimo orden en la cognición y tratamiento de la salinidad es la evaluación de la magnitud de la afectación, lo que permite establecer estrategias y decisiones particulares para cada situación. La evaluación de la salinidad reviste gran importancia teórica y práctica, ya que cuantifica las gradaciones de los componentes de la salinidad en los suelos en el momento del arbitraje, como un índice del factor limitante salinidad (Cintra *et al.*, 2016). Esto es independiente de su inclusión como proceso temporal o permanente establecido en la génesis y clasificación del suelo, para lo cual están determinados los valores críticos de los indicadores fundamentales reconocidos internacionalmente (Conductividad Eléctrica (CE) de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del 15 %), que según refieren Flores *et al.* (1996), son utilizados para dividir o clasificar a los suelos Halomórficos en salinos, sódicos y salinos- sódicos.

La aplicación en dinámica de la evaluación de la salinidad, permite actuar sobre la protección de la calidad de los suelos (Brejda *et al.*, 2000; Arshad y Martin, 2002), a partir de la valoración del estado de afectación o recuperación, lo cual opina Zhou (2006), es una de las prioridades globales en las investigaciones de la ciencia del suelo, pues se basa en el estudio de los cambios de los mecanismos edafológicos, necesarios para priorizar la ejecución y adaptación de tecnologías que minimicen los impactos negativos sobre la sostenibilidad, los aspectos ambientales y la producción de alimentos (Royo y Abió, 2003; Cerri *et al.*, 2006; Corwin *et al.*, 2006).

El Proyecto Ramal del Instituto de Suelos PR 1172 “Generalización de la Nueva Metodología de Evaluación de la salinidad de los suelos de Cuba”, ejecutado entre los años 2007 y 2009, permitió la actualización de la normativa en este aspecto, aprobándose la NC 776:2010 Calidad del suelo. Evaluación de la afectación por

salinidad, en la cual se encuentran las indicaciones para lograr la valoración de este fenómeno de acuerdo con las tendencias globales. Se basa fundamentalmente en el uso de indicadores globales utilizados internacionalmente, conjuntamente con indicadores territoriales, específicos para los suelos de las diferentes regiones (Cintra *et al.*, 2016).

La CE es utilizada para cuantificar la salinización electrostática y el PSI corregido para evaluar la sodicidad de los suelos. Se sustituye el empleo de las Sales Solubles Totales (SST), justificable para ser utilizadas en condiciones climáticas diferentes a las nuestras, como desiertos y estepas (Kovda, 1964) en que continuamente el agua de solvatación de los iones se pierde por evaporación, dando lugar a la formación de sales. El Sodio (Na^+) cambiante es corregido para delimitar su efecto dispersante, de la contribución contradictoria de las concentraciones de Na^+ soluble sobre la floculación del suelo.

Además, toma en cuenta el porcentaje de los iones libres inactivos, los cuales tienden a incrementarse con el aumento de la salinización, independientemente al apareamiento iónico; así como el riesgo de sodicidad expresado a través de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) total activo, obtenido de las interrelaciones entre las concentraciones activas de los cationes solubles.

Sin embargo, no existe un documento normativo atemperado al desarrollo actual de la temática, que organice de forma estructurada los aspectos a cumplir para realizar el monitoreo a estos agroecosistemas, que tienen afectaciones por el fenómeno de la salinidad en mayor o menor grado y proponer medidas de mitigación, lo que garantizaría la continuidad de las acciones emprendidas según las particularidades de cada área.

Recientemente, en el municipio de Guantánamo se definió el Programa del Anillo Verde para la ciudad, compuesto por la zona productiva que bordea la ciudad, extendiéndose aproximadamente en 2 km en la parte norte y 12 km en la parte sur hasta alcanzar la Jabilla (Anexo 1). La Zona I (Consejo Popular Sur Hospital) se extiende hacia el sur del Valle de Guantánamo, desde el km 1 de la carretera a Caimanera, hasta la Jabilla en los límites con Cayamo por la parte sur, al este limita

con el Consejo Popular Paraguay y al oeste con el municipio Niceto Pérez (MINAG, 2019). Esta zona presenta suelos con afectaciones por salinidad que van desde débilmente salino a muy fuertemente salino y debe aportar el 54 % al autoabastecimiento de la población urbana de la ciudad de Guantánamo.

Dentro del área ocupada en el programa antes descrito, se encuentra la CCS Enrique Campos Caballero, que abarca un área actual de 1321,04 ha, representando el 71,9 % del total. El desarrollo productivo de esta zona agrícola prevé que esta forma productiva alcance el 85,5 % de participación, y dentro de ella, dos productores son de referencia por los resultados que aportan: Antonio Márquez y Pedro M. Dorado.

Los estudios de salinidad realizados en esta zona no han sido sistemáticos en el tiempo, ni han cubierto todo el espectro de factores que pueden incidir en el diagnóstico y su profundización.

Esta situación ha agravado el balance productivo de las unidades agrícolas ubicadas en los territorios afectados, que, enfrascadas en el logro de su objeto social, no le han dedicado el suficiente espacio a tomar medidas de intervención que conlleven al reordenamiento de las áreas, a la protección del entorno geográfico y al manejo mejorativo.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto surge el siguiente problema científico:

PROBLEMA CIENTÍFICO

Inadecuado monitoreo para evaluar las afectaciones por salinidad en los suelos de la zona sur del Valle de Guantánamo.

Como hipótesis se plantea:

HIPÓTESIS

El monitoreo adecuado para evaluar las afectaciones por salinidad en los suelos de la zona sur del Valle de Guantánamo permitirá adoptar las medidas de mitigación y/o corrección necesarias para mantener el potencial productivo de los suelos que ocupan esta parte de la provincia.

Para lograr una propuesta de solución al problema enunciado se formula como objetivo general:

OBJETIVO GENERAL

Monitorear de manera adecuada un agroecosistema afectado por salinidad en la zona sur del Valle de Guantánamo.

Se desglosan en los siguientes objetivos específicos:

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el agroecosistema afectado por salinidad en la zona sur del Valle de Guantánamo.
2. Realizar el monitoreo adecuado de un agroecosistema afectado por salinidad.
3. Proponer indicaciones técnicas para el monitoreo adecuado de la salinidad en un área de la zona sur del Valle de Guantánamo.

El aporte está en el monitoreo adecuado de los agroecosistemas afectados por salinidad, mediante indicaciones técnicas que permitirá dar seguimiento diferenciado a través del tiempo y abarcar todos los aspectos que tienen incidencia en este fenómeno, para establecer las medidas preventivas y/o correctivas para mitigar las afectaciones por sales y que permita establecer una política para la explotación racional de estas áreas agrícolas afectadas.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El problema de la salinidad y su efecto en los agroecosistemas

Según Flores *et al.* (1996), de los numerosos problemas a los que tendrá que enfrentarse la humanidad en los próximos años, se presentan dos que están íntimamente ligados: salinidad y el uso y manejo del agua. En el primer caso, existe una gran cantidad de ejemplos en los que el fenómeno se visualiza como un problema tecnológico de rehabilitación y mal manejo del suelo. De acuerdo con este principio, la solución o soluciones dadas, se basan en costosos sistemas de riego-drenaje y en el uso y manejo del agua de manera óptima, al cual se agrega la utilización de sustancias químicas de diferente composición y naturaleza.

En el segundo, se toma el recurso agua, como una disponibilidad natural renovable y por lo tanto, su uso se ejecuta de forma indiscriminada, lo que además de alterar los sistemas hidrológicos de captación como: ríos, arroyos, lagos, aguas subterráneas, lagunas costeras, que al modificarse de manera unilateral o en su conjunto, conducen a los ecosistemas hacia un proceso de salinización cada vez más intenso, que puede conducir a la infertilidad de la tierra.

Es un hecho reconocido que dado los cambios climáticos globales previstos, va a ser incrementada la salinidad en aguas y suelos (PNUMA, 2007).

En las regiones áridas, semiáridas y estepas, donde la evaporación es mayor que las precipitaciones, se ubican las regiones más afectadas por sales. Son componentes naturales de los paisajes áridos. Su presencia se correlaciona directamente con una limitada precipitación; es decir, la evapotranspiración excede a la precipitación durante la mayor parte del año (Kovda, 1964).

El origen de la salinidad se debe a intemperismo, efectos del clima y paisaje, depósitos fósiles o secundarios, deposición atmosférica y actividades antropogénicas (Suárez y Jurinak, 1990). En términos generales, las causas potenciales o fuentes de excesos de sales incluyen agua de riego salina, drenaje inadecuado, sales del suelo nativas, y procesos continuos (Pulido – Madrigal, 2009).

También puede aparecer en lugares con prolongados periodos de sequía, como en zonas climáticas templadas, secas y en los trópicos secos. Otros lugares donde es posible encontrar suelos con problemas, son los cercanos al mar (costas, lagunas, litorales y pantanos), o bien en la cercanía de domos salinos, manantiales de aguas salinas y mantos freáticos salinos. Esto se conoce como salinización primaria (Otero^b *et al.*, 2010).

Además de las extensas áreas de suelos con salinidad primaria en el mundo, en los últimos años se ha incrementado considerablemente la salinidad secundaria en extensos territorios, debido fundamentalmente a los efectos del riego, donde para garantizar el suministro de agua y tener agricultura, se ha implantado el riego, sin haber previsto la instalación de sistemas de drenaje, lo que ha conllevado al incremento de la salinidad de los suelos, por la ascensión de las sales que se encontraban localizadas por debajo de los 20 cm de profundidad, intensificado por las particularidades climáticas que aumentan su concentración en el suelo.

Este problema se puede intensificar con otras fuentes adicionales de electrolitos, como el uso de fertilizantes y la calidad del agua de riego. La significación relativa del aporte de cada fuente suministradora de sales, depende de las condiciones del suelo, la efectividad del drenaje, la calidad del agua de riego, la sobreexplotación del manto y las prácticas de manejo agronómico. Los cambios hidrológicos provocados por la deforestación o por el cultivo intensivo, también son causas importantes de la salinidad (IVIA, 2019).

Los suelos salinos son aquellos que contienen cantidades importantes de sales más solubles que el yeso, lo que interfiere con el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas sensibles. La salinidad se mide por medio de la Conductividad Eléctrica (CE) en la solución del suelo, y el umbral para considerar que un suelo es salino se ha establecido en $CE > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ a 25°C (Courel, 2019).

Este autor considera que, más de 800 millones de hectáreas de suelo son afectadas por salinidad y sodicidad a lo largo del mundo, lo que es equivalente a más del 6 % del área total mundial y aproximadamente el 20 % del área cultivable total. Este porcentaje podría incrementarse a un 50 % del total de suelo cultivable en el 2050.

Reflexiona además que, la principal causa natural de salinidad de los suelos es el ascenso capilar de napa freática con características salinas, siendo la fuente de salinidad la meteorización del material original del suelo de naturaleza salina. En este caso el micro relieve juega un rol determinante en la presencia de mayor o menor cantidad de sales.

Igualmente opina que la actividad antrópica ha incrementado la extensión de áreas salinizadas al ampliarse las zonas de regadío con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han provocado cambios en la composición de sales en el suelo. En la década del 90 se estimaba que la proporción de suelos afectados por salinidad estaba alrededor de un 10 % del total mundial y que entre un 25 y un 50 % de las zonas de regadío estaban salinizadas.

En la actualidad, sí está claro, que esta situación se agudiza cada día más en las áreas cultivadas a nivel mundial, producto de la falta de conciencia medioambiental y de la explotación de los recursos hídricos irracionalmente, además de otros factores edafoclimáticos que influyen directamente sobre la salinidad de los suelos como, por ejemplo, el desmonte de tierras para volcarlas a la producción, esto conlleva a un ascenso de sales de la capa freática (Courel, 2019).

Los procesos de salinización se presentan en suelos con régimen de humedad ascensional epipercolativo (humedad ascensional) donde la evapotranspiración potencial supera a las precipitaciones, con translocaciones capilares ascendentes a partir de una napa freática salina (halohidromorfismo) y una dinámica de lixiviado restringido en época de lluvias.

Acorde a Fernández y Pérez (2009), la principal propiedad del suelo es su fertilidad, pues es la condición necesaria para que un ecosistema esté en equilibrio, ya que como expresó Flores *et al.* (1996), está conceptualizada como el equilibrio armónico entre el estado físico del suelo y el medio que lo circunda.

Cuando la concentración de sales solubles en el suelo es alta, ocurren modificaciones en las propiedades físicas de los suelos, estas dependen del tipo de suelo y de sales que se encuentran en solución, por ejemplo, sales como los carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio ocasionan agregación y formación de

agregados con las partículas finas del suelo, proceso conocido como floculación. Sin embargo, aun cuando este proceso es positivo para el suelo, no siempre la adición de sales de cierto tipo es benéfica para mejorar las características de cualquier suelo. Debe recordarse que niveles de salinidad altos pueden ocasionar toxicidad a las plantas (Coras *et al.*, 2014).

De acuerdo con la información del mapa de salinidad, que aparece en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (Obregón *et al.*, 1988), se conoce que un millón de hectáreas de suelos agrícolas están afectadas por salinidad y más de un millón tienen problemas potenciales; y las provincias orientales son las más afectadas (González-Núñez *et al.*, 2004).

Lamz y González (2013) corroboran que existen pocos suelos con procesos de salinidad primaria en Cuba 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.

Expresan además que, la mayoría de los suelos afectados por los procesos salinos en Cuba se originaron de salinidad secundaria y entre las principales causas de la salinidad de estos suelos se encuentran:

- La deforestación de tierras accidentadas, con el consecuente cambio en el régimen de agua, la 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, provenientes 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, aplicación de materia orgánica).

Macchiavello y Sueiro (2012) consideran que las oscilaciones del sistema freático pueden afectar de diferente manera el uso y manejo de los suelos ya que pueden observarse distintas situaciones tales como: napas que se presentan a poca profundidad y que pueden resultar en un beneficio, incrementando la producción o un gran perjuicio, ya que puede afectarla, degradando el ambiente en general. Esto ocurre con una freática salina que asciende capilarmente a la superficie, transformándose en una fuente de sales y sodio para el perfil y que provoque inundación por anegamiento cuando se dan balances hídricos excedentarios.

Según datos de la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI, 2013), el 14,9 % de la superficie agrícola y el 9,1 % de la superficie del país se encuentran afectados por sales. Sin embargo, estas cifras deben ser superiores en la actualidad, aunque no aparecen nuevos reportes en la literatura científica (Pernús y Sánchez, 2015).

Castro (1985), destacó la tendencia a la salinización de las tierras en la región de Guantánamo por la naturaleza del terreno, mineralización que tienen ciertas aguas, y salinización que tiene el manto freático.

Según Ortega (1986), las principales fuentes de sales en los suelos cubanos son los sedimentos salinos formados en condiciones continentales durante las fases de aridez pleistocénica, seguidos de la intrusión marina en los acuíferos cársicos abiertos al mar. Las zonas más importantes de acumulación continental de sedimentos salinos pleistocénicos son la depresión Cauto-Guacanayabo, el Valle de Guantánamo y el norte de las provincias centrales. Sin embargo, dicho autor plantea que el clima húmedo de Cuba favorece el lavado natural de las sales; por lo que los suelos con salinización primaria o natural son poco extensivos y están asociados a las ciénagas costeras.

En la mayor parte de los suelos afectados de Cuba, la salinidad es secundaria; entre las causas que la producen se encuentran: la deforestación de las tierras altas y las ciénagas costeras, el uso de agua salinizada de acuíferos con intrusión marina, la elevación del manto freático salinizado, así como el uso de agua de riego de mala calidad (González-Núñez *et al.*, 2004).

Cabrera (1992), relata que los reportes más antiguos de salinización en el Valle de Guantánamo datan de 1920 en los trabajos de Bennet y Allison donde se describen ocho perfiles típicos de la zona, de los cuales cuatro presentaban diferentes niveles de salinidad encontrándose ubicados hacia el sur de la provincia. Los autores señalaron, que en las áreas más bajas correspondientes al central Los Caños (antiguo central Paraguay), existían lugares con acumulación de sales muy altas que impedían el desarrollo de la caña de azúcar. Otras áreas, donde el contenido de sales era ligera o su máxima acumulación se localizaba a más de 1m de profundidad, producían rendimientos agrícolas e industriales excelentes siempre que contaran con zanjas de drenaje, destacando que un mejor control de la salinidad se presentaba cuando la profundidad de las zanjas eran de 1,5 m.

Flores *et al.* (1996) refieren en su libro “Salinidad un nuevo concepto” que en el Valle de Guantánamo, más de 26 000 hectáreas de suelo presentaban problemas de salinidad y sodicidad y dentro de ellas, algunas afectadas por el exceso de Magnesio (Mg) (INRH, 1992). La zona, eminentemente agropecuaria y con gran importancia en el programa alimentario del territorio, ha presentado graves afectaciones en los rendimientos agrícolas debido al proceso degradante de la salinización.

En el sureste del valle, se presentan condiciones climatológicas y geomorfológicas que propician la acumulación de sales en los suelos (Borges *et al.*, 1998) con lo que se crea una situación difícil para la producción agropecuaria. En un suelo salino la elevada concentración de iones Na^+ y Cl^- , produce una interferencia en la absorción de nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , NO_3^-) e impide la captación de los mismos, lo cual puede alcanzar niveles tóxicos para el metabolismo celular.

Al respecto, Munns y Tester (2008) plantean que la salinidad de los suelos afecta la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Su efecto negativo se debe principalmente a dos componentes: el osmótico y el iónico. El primero se deriva de la dificultad que tienen las plantas para tomar agua de un suelo salino (por la disminución del potencial hídrico del suelo); mientras que el segundo radica en la toxicidad iónica que puede provocar un exceso de sales en el interior de la célula vegetal.

Los efectos sobre las plantas dependen tanto de la tolerancia de cada especie y cultivar, como también del estado de desarrollo de la misma (Courel, 2019). Esto es corroborado por Aguirre Hernández (2009) quien confirma que la presencia de iones salinos en los tejidos de las plantas, a niveles de concentración superiores a los tolerados origina lesiones características en ellas, dependiendo de la naturaleza y concentración de los iones.

De acuerdo con el Anuario Estadístico de la provincia Guantánamo (ONEI, 2019), el área afectada por salinidad es de 20 005.6 ha, que representa aproximadamente el 3,5 % de la superficie total del territorio.

Acciones de corrección y/o mitigación

Son múltiples los resultados recogidos en la bibliografía mundial acerca de la recuperación y/o mejoramiento de los suelos afectados por sales. Sin embargo, es necesario mantener la opinión de que antes de tomar una decisión al respecto, particularmente en los países no desarrollados, es necesario realizar las siguientes reflexiones, de acuerdo con Flores *et al.* (1996):

- Costo de las inversiones y tiempo para recuperarlas, suponiendo que se cuente con el recurso intelectual y material necesario.
- Si como es conocido, la mayor parte de las áreas afectadas por sales en el mundo son el producto de la causa antropogénica provocada por un manejo inadecuado del suelo, incluyendo aguas de riego de dudosa calidad y ausencia del drenaje adecuado, bien valdría la pena tener como opción la utilización de medios biológicos (especies de plantas económicas capaces de adaptarse a un umbral de salinidad determinado), u otros organismos que ayuden a mantener o incrementar la fertilidad del suelo.

Villafañe y Guarisma (1998), propusieron un método para obtener la composición salina del agua y definir estrategias de manejo del riego, conociendo los iones presentes en el agua, la tolerancia del cultivo a la salinidad, las condiciones de drenaje del suelo y la cantidad de lluvia del lugar. El método brinda la dosis de enmienda requerida para atenuar los riesgos de sodificación que aporta el agua al suelo, la fracción de lavado que puede controlar la salinidad, así como las

necesidades de cambio de cultivo, uso de riego de alta frecuencia o descanso del suelo para su recuperación de manera natural.

Este autor cita que desde 1950 en China se han recuperado suelos salinos a base de reforestaciones, empleando métodos de conservación de aguas; para los métodos de control biológico con las prácticas agroforestales, utilizan especies tolerantes a la salinidad con lo que se han triplicado los rendimientos en la región algodonera.

Martínez-Casasnovas y Martín-Moreno (2004) emplearon imágenes satelitales, análisis estadístico, análisis espacial y sistema de información geográfica (SIG), para la caracterización de la distribución espacial típica del cultivo de arroz en regadíos del valle del Ebro, donde la presencia del cultivo está ligada a la existencia de suelos salino-sódicos. Esto permite identificar las áreas donde es típica la presencia del cultivo año tras año y las áreas donde es frecuente su fluctuación debido a condiciones variables de salinidad del suelo, relacionada a la variabilidad en las condiciones de mercado. Para ello recurrieron al análisis de una serie temporal de mapas de cultivos (7 años) derivados de la clasificación supervisada de imágenes Landsat TM y la determinación de las áreas típicas y de fluctuación del cultivo de arroz, a partir del análisis estadístico de clases, y la superposición espacial de coberturas en un entorno SIG-Raster. Esta metodología caracteriza la distribución espacial de la salinidad lo cual es necesario para racionalizar tiempo de muestreo y perfeccionar las interpretaciones de los resultados.

Otros autores como Ruiz *et al.* (2007) obtuvieron una clara tendencia de reducción de sales en el suelo, por efecto del cultivo de las especies zacate Sudán, ballico italiano o ryegrass y zacate bermuda, las cuales poseen propiedades excretoras de sal, como un mecanismo fisiológico de tolerancia a este factor, así como el efecto de dos densidades de población de plantas en el balance de sales solubles totales, cationes y aniones en suelo y cationes en planta. Los resultados del estudio mostraron una clara tendencia de reducción de sales en el suelo por efecto del cultivo de las tres especies, expresada tanto en reducción de la conductividad eléctrica del extracto de saturación, como en reducción de la concentración de cationes y aniones. El zacate bermuda ocasionó una mayor reducción en la salinidad

del suelo y no se observó efecto significativo de la densidad de población de plantas en el balance de sales en suelo y planta.

Zúñiga Escobar *et al.* (2011) evaluaron una serie de tecnologías no convencionales utilizadas en recuperación de suelos afectados por salinidad según la respuesta agronómica de un cultivo de maíz, obteniendo que la aplicación de tres (3) tratamientos alternativos: Biofertilizantes, Biopolímeros y Electromagnetismo, comparados frente a la propuesta convencional con base en enmiendas químicas (yeso - azufre) y un testigo absoluto (Sólo drenaje). Los tratamientos más efectivos, en cuanto respuesta fisiológica y productividad, fueron los biológicos con uso de microorganismos (biofertilizantes y electromagnetismo), se incluyó la estimulación electromagnética la cual acelera la actividad microbiana para disminuir el tiempo de recuperación de suelos afectados por salinidad del suelo.

Feuchter (2016), propuso 10 acciones para solucionar o contribuir a la reducción de los niveles de salinidad en suelos salinos agrícolas, mediante el establecimiento de praderas bajo riego y cultivos alternativos, dichas acciones fueron:

1. Reforestar con especies nativas.
2. Aprovechar las áreas de marismas con agua de mar o salobre.
3. Subsidiar y asesorar sobre el uso de fertilizantes con menor índice de salinidad.
4. Planear mejor la distribución del agua para que las tierras agrícolas tengan segundos cultivos.
5. Establecer un programa de asistencia técnica, conjugando experiencias exitosas.
6. Validar tecnología en el diseño de siembras y trazo de riegos.
7. Utilizar en la conversión y diversificación agrícola especies tolerantes a la salinidad, halófitas y gramíneas forrajeras de invierno y verano.
8. Apoyar la investigación y generar tecnología regional para mejorar los rendimientos en suelos salinos.
9. Impulsar el mejoramiento genético de las especies cultivadas que sean un beneficio productivo y económico.

10. Infraestructura hidráulica y drenaje parcelario.

Courel (2019) plantea que existen varias opciones para el manejo y aprovechamiento de los suelos salinos y sódicos, como son:

- Cambiar el tipo de cultivo, utilizando plantas más tolerantes a altos contenidos de sodio.
- Mejoramiento de la estructura de los suelos sódicos, sustituyendo el sodio intercambiable por iones de calcio. Esto puede hacerse aplicando yeso (sulfato de calcio) o materia orgánica de naturaleza ácida como la cachaza.
- Asegurar la existencia de un drenaje eficiente para efectuar el lavado de las sales.
- Garantizar la calidad del agua de riego utilizada.
- Estudiar y diseñar esquemas apropiados para el régimen y los métodos de riego, de manera que supere la evapotranspiración.
- Observar las características del campo en explotación, dejando siempre cobertura sobre el suelo para evitar el ascenso de sales.

De acuerdo a FAO (2020), los métodos adoptados para la remoción de sales en exceso de la superficie del suelo y zona radicular incluyen:

Para prevenir la acumulación excesiva de sales en la zona radicular, el agua del riego o de la lluvia debe ser aplicada en exceso superando el nivel de evaporación necesario para el cultivo. La lixiviación se puede programar para preceder las fases críticas del crecimiento en donde el estrés se puede prevenir. En las épocas secas se puede programar mediante el riego. Esta se torna eficaz cuando los requerimientos de evapotranspiración son más bajos, por ejemplo en la noche, cuando la humedad esté elevada y en climas fríos o fuera de la temporada de cultivo. Además, cuando el agua de drenaje salina se descarga mediante drenajes subterráneos que transportan los sales precipitados fuera del área de rehabilitación, evitando la contaminación de otras zonas de cultivo cercanas.

Cintra y Cotorruelo (2020) destacaron que en Guantánamo se realizó a finales de la década del 80 del pasado siglo, el lavado capital de sales en 40 ha del Valle de Guantánamo, para la recuperación de esas áreas afectadas por sales. Este método resultó muy efectivo y recomendable para la desalinización a corto plazo de estas áreas. Sin embargo, es un método costoso porque requiere de grandes volúmenes de agua, la preparación de las parcelas de lavado, el drenaje adecuado, así como, el monitoreo constante de los parámetros salinos después de cada entrega de la norma de lavado.

Los mismos autores reseñan además, que entre los años 1985 y 1995 se diseñó e implementó una tecnología integral para el uso y manejo de los suelos aluviales salinos con el cultivo del plátano, donde se integran los resultados de investigaciones en suelos con diferentes grados de salinidad. Aplicando sobredosis en el riego con agua de buena calidad, seleccionando el cultivo y la variedad adecuada de acuerdo a la salinidad de cada área, incorporación de materia orgánica, construcción de drenajes profundos y una buena preparación de suelos. Esto permitió un régimen hidrosalino de lavado en el suelo, logrando abatir el manto freático por debajo de su profundidad crítica y la disminución en un 35 % de los suelos con mayores tenores de sales, alcanzando niveles tolerables de salinidad para este cultivo.

Asimismo reseñan que a finales de la década del 90 del pasado siglo, se trabajó en el estudio e introducción de especies tolerantes a la salinidad, obteniéndose la primera tabla de tolerancia a la salinidad para los cultivos más explotados en esta zona. Entre ellos se encuentran los pastos (gramíneas y leguminosas), viandas (plátano, boniato, yuca y ñame), vegetales (tomate, habichuela, cebolla, lechuga, pimiento, quimbombó y rábano blanco), arroz, cítricos, granos (frijol común, frijol caupí, frijol verde, soja y sorgo), oleaginosas (higuereta, girasol y cártamo), medicinales (albahaca y sábila), plantas aromáticas y productoras de fibras (agaves sp.). En todos los casos se obtuvo pérdida en los rendimientos relativos para las condiciones edafoclimáticas del Valle de Guantánamo, a partir del 10 %.

Varios autores coinciden en que las prácticas de recuperación no son inmediatas, constituyen un proceso que requiere de tiempo, el cual depende de diversos factores,

como por ejemplo, el clima (precipitaciones y evapotranspiración), el tipo de suelo, el historial de campo, entre otros.

2.2. Los sistemas para el monitoreo de la salinidad

El recurso suelo como componente y unidad de gestión ambiental en nuestro país está sometido a presiones de origen antrópico que conducen a la aparición o intensificación de los factores limitantes o degradativos de los mismos, destacándose entre ellos: erosión, disminución del contenido de materia orgánica, compactación, salinización y contaminación (Orellana *et al.*, 2009).

Estos autores reportan que específicamente el desencadenamiento de la salinidad, es reconocido como un desastre ecológico, pues sus consecuencias atañen además del suelo a todo el ecosistema en su conjunto incluyendo al hombre y mencionan entre los efectos que ocasiona al entorno los siguientes:

1. Afectación de los rendimientos, dado por los efectos osmóticos, tóxicos y nutricionales sobre las plantas.
2. Afectación de la fertilidad de los suelos, al perturbarse la relación adecuada entre el estado físico de los suelos y el medio circundante, condicionado por diferentes procesos y fenómenos.
3. Exceso de cationes solubles, desequilibrio entre los iones adsorbidos (principalmente los de sodio) y el desbalance de las reacciones ácido- base.
4. Daños a la flora microbiana y a la macro y meso fauna del suelo.
5. Solubilización y lavado de la materia orgánica del suelo.
6. Ruptura de los agregados agronómicamente valiosos del suelo.
7. Desarrollo de procesos erosivos.
8. Extinción de la vegetación sobre la superficie del suelo.
9. Contaminación de aguas superficiales.
10. Afectación de la calidad de las aguas de riego y potable.

En México, Pulido *et al.* (2009), propusieron una metodología para el diagnóstico, manejo y control de la salinidad, donde expusieron las principales problemáticas encontradas para el manejo de este factor degradante. Plantean que para caracterizar la salinidad se han llevado a cabo estudios edafológicos, geológicos, freaticos y topográficos, pero hasta ese momento no cuentan con una metodología que permita identificar, ordenar y jerarquizar las causas del ensaltramiento de los suelos, y establecer las medidas preventivas y correctivas. Es por ello que proponen la siguiente metodología para el manejo y control de la salinidad de los suelos en cinco etapas:

1. Evaluación de las condiciones de salinidad.
2. Identificación de las causas que favorecen la salinización de los suelos.
3. Jerarquización de causas.
4. Aplicación de medidas correctivas.
5. Evaluación de los efectos de las medidas correctivas aplicadas.

En otros países como Colombia, se ha propuesto un instructivo, como resultado de un proyecto de investigación, elaborado por la Consultoría ICESI y Grupo de producción Sostenible (2015), que consta de 4 partes: Objetivo, Definiciones, Desarrollo y Anexos. En el mismo solo se considera la información acerca del suelo, considerando para ello los muestreos de suelos y/o fotografías aéreas.

El monitoreo de las condiciones de salinidad es muy importante, porque permite saber la distribución geográfica de las áreas afectadas y conocer el alcance. Los resultados que se obtienen de las evaluaciones sirven para tomar decisiones sobre el mejor uso de las áreas con esta problemática.

La sistematización teórica realizada no arrojó en nuestro país resultados en cuanto a metodologías o instructivos técnicos para el monitoreo de la salinidad en agroecosistemas afectados.

Se tienen antecedentes de aproximaciones a este tema en el Instituto de Suelos, mediante los trabajos realizados por Otero *et al.*, (2006-2010) quien dedicó gran parte de su vida científica al estudio del fenómeno de la salinidad, hasta su jubilación.

Nuestro país cuenta con la Norma Cubana 776:2010 para la evaluación de la salinidad en los suelos, que permite diferenciar el estado en que este proceso puede limitar el funcionamiento de los mismos, partiendo de la utilización de indicadores globales comunes a todos los suelos a nivel nacional y de indicadores específicos de alcance territorial (Otero *et al.*, 2009), además de contribuir a la toma de decisiones respecto al empleo de alternativas de manejo o mejoramiento específicos y sostenibles.

Respecto al mejoramiento sostenible de los suelos con salinidad, a Otero^a *et al.* (2010) se les acreditó el “Procedimiento para la obtención de la dosis efectiva de mejoradores químicos en suelos salinos”, el cual integra el uso racional de las dosis de los mejoradores con el aprovechamiento mejorativo de la calidad del agua, complementado por el empleo de medidas biológicas y la utilización de nuevos indicadores provenientes de la solución del suelo, para valorar la efectividad del mejoramiento.

García Reyes *et al.* (2014) realizaron un estudio con el objetivo de introducir las técnicas de teledetección en el monitoreo de la salinidad en Cuba, resumiendo los enfoques que se han seguido tanto en Cuba, como en diversas partes del mundo. El interés en estos métodos estuvo motivado por las posibilidades que brindan para la representación espacial e instantánea de la salinidad en extensas regiones diferenciándose de otros enfoques puntuales. Los métodos fundamentales empleados fueron: fotointerpretación de fotografías pancromáticas aéreas, fotointerpretación de fotografías multiespectrales espaciales, fotointerpretación de fotografías infrarrojas a color aéreas, videografía, métodos electromagnéticos aéreos, clasificación digital de imágenes de satélites. Los mismos se emplean en dependencia del desarrollo tecnológico de los países y del acceso a las imágenes y al equipamiento. Proponen una metodología preliminar para el monitoreo de la salinidad utilizando técnicas de teledetección, descriptores del terreno obtenidos del modelo digital de elevación y datos de campo. Los datos empleados fueron imágenes Landsat-5 TM y Landsat-7 TMM de la provincia de Guantánamo, una de las más afectadas por la salinidad en Cuba.

2.3. Los instructivos, indicaciones técnicas y metodologías como resultado de la investigación científica

Wikipedia, la enciclopedia libre, precisa que los textos instructivos tienen como propósito dirigir las acciones del lector; suele describir la lista de elementos necesarios para realizar la tarea correspondiente y, por supuesto los pasos a seguir en el procedimiento (Wikipedia.org, 2020).

La metodología se define como el estudio filosófico de los métodos del conocimiento y transformación de la realidad, la aplicación de los principios de la concepción del mundo al proceso del conocimiento, de la creación espiritual en general o a la práctica. Incluye el conjunto de métodos, procedimientos y técnicas que responden a una o varias ciencias relacionada con sus características y su objeto de estudio (Filosofía.org, 2000).

Se asocia a la utilización de los métodos de la ciencia como herramientas para el estudio del objeto de estudio, lo que implica que está ligado al proceso de obtención de conocimientos científicos sobre un objeto.

El desarrollo de sistemas sostenibles para la producción agrícola y ganadera requiere de herramientas metodológicas que permitan una evaluación rigurosa de los procesos implícitos y de sus dinámicas. Estas herramientas permitirían avanzar en el estado del arte acerca del funcionamiento de una diversidad de sistemas complejos (por ejemplo, sistemas integrados agricultura-ganadería u otras variantes de sistemas agroecológicos). Además, facilitarían el diálogo entre los investigadores, los extensionistas, los productores y otros actores decisivos de la cadena de producción de alimentos (van Mil *et al.*, 2014).

En la literatura internacional existe un amplio espectro de metodologías para la evaluación de sistemas (Bockstaller *et al.*, 2006; 2008; 2009); sin embargo, una gran parte de ellas se concibieron para las condiciones específicas en que se hizo el estudio. En el caso de los instructivos técnicos, en su gran mayoría están concebidos para los cultivos en específico, donde se trata al suelo como un elemento más dentro de los mismos, sin especificidades al respecto.

Es así que existe una gran variedad de metodologías a partir de las inquietudes relativamente recientes en torno a temas sensibles como la seguridad alimentaria, la sostenibilidad, el crecimiento demográfico, la crisis energética y/o el cambio climático (Verstegen *et al.*, 1995; van der Werf y Petit, 2002; Singh *et al.*, 2012; Cinelli *et al.*, 2014).

Dichas herramientas son de naturaleza variable (cualitativas, cuantitativas), con niveles de riqueza, complejidad/profundidad y flexibilidad fluctuantes y con aplicaciones de carácter más o menos científico o de soporte a políticas decisionales (Figueira *et al.*, 2005; Gasparatos *et al.*, 2008; Gasparatos y Scolobib, 2012).

Sobre esta base resulta pertinente señalar la investigación realizada por IDEAM, CAR y U.D.C.A. (2017), los cuales presentaron un *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de los suelos por salinización*, como instrumento para consolidar el programa de monitoreo y seguimiento en el marco de la gestión sostenible. El propósito de este protocolo es ofrecer los lineamientos técnicos y de planificación para la identificación, la zonificación, el análisis y la evaluación del proceso de degradación de los suelos por salinización en Colombia.

Lau Quan, *et al.* (2005) implementaron una *Metodología para la estimación de la salinidad de los suelos utilizando la teledetección, un Sistema de información geográfica, la Geoestadística y Sensores eléctricos*. Este resultado constituye uno de los primeros en el ámbito internacional en esta temática que utiliza imagen espectrosonal y el primero en Cuba.

Morales *et al.* (2006) proponen parámetros técnicos para la explotación de la variedad de arroz IA Cuba 25 en suelos salinizados, siendo evaluados cada uno de ellos. Detallan los resultados alcanzados para el manejo de esta variedad en suelos con estas afectaciones:

- Monitoreo de la salinidad en los campos a sembrar.
- Evaluación de la calidad de agua de riego de la fuente de abasto que utiliza el área objeto de estudio.
- Época de siembra.

- Distanciamiento entre canales.
- Evaluación de la salinidad a la entrada y salida del campo.
- Aplicación del método de preparación y siembra más adecuado para las condiciones de salinidad (seco - fanguero).
- Evaluación del comportamiento de la variedad IA Cuba 25 en suelos salinizados en tres zonas de la región oriental de Cuba.
- Manejo de la fertilización con NPK.

Bolívar (2011) propuso pasos metodológicos para la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola; con el fin de medir el nivel de desarrollo comparando su desempeño actual con el desempeño deseable, con atención en las áreas o dimensiones siguientes: social, económica, medioambiental e institucional, utilizando los principios básicos del desarrollo sostenible, criterios de diagnóstico, indicadores y medios de verificación, aspectos que permiten comparar resultados a lo largo del tiempo. La integración de los indicadores de sostenibilidad conduce a la supervisión de planes y programas sociales, económicos e institucionales, contribuyendo a orientar sobre políticas, estrategias, acciones, y la toma de decisiones en procura del desarrollo sostenible.

Leiva *et al.* (2015) abordan el comportamiento de variedades de arroz en suelos afectados por sales, donde especifican que las atenciones culturales al cultivo se realizan según el Instructivo Técnico del cultivo del arroz (2014) y recomiendan variedades tolerantes al estrés salino. No refieren tecnologías específicas para el tratamiento de los suelos afectados por sales.

Usaquén Perilla (2017) desarrolló una metodología para la gestión ambiental de humedales costeros y continentales sometidos a presiones agrícolas la cual facilitó la formulación de modelos con enfoque sistémico (socio-físicos, multiparamétricos), identificando y parametrizando las variables esenciales para su aplicación práctica en los contextos local, regional y mundial. Integró el uso de herramientas numéricas y de modelización con elementos conceptuales, que permitieron la formulación de estrategias y el diseño de actuaciones de gestión.

Por su parte, Mendoza *et al.* (2018), reconocen el desarrollo adecuado del cultivo de la *Mentha arvensis* L. var. Piperaceus Malinnaud (Menta japonesa) en los suelos salinos del Valle de Guantánamo, para los que recomiendan la preparación de suelos con aplicación de materia orgánica entre 10 – 12 t.ha⁻¹, sin referirse al manejo necesario de estos suelos para su correcta explotación y alcanzar los resultados previstos.

III. Materiales y Métodos

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en la localidad de Matabajo, en la provincia de Guantánamo, entre los años 2018 y 2019. Ubicada al sur del Valle de Guantánamo, perteneciente a la CCS Enrique Campos Caballero, se seleccionó un área de 2 ha, en la finca de Antonio Márquez, con su centro en las coordenadas N: 153.440 y E: 668.910 (Figura 1).

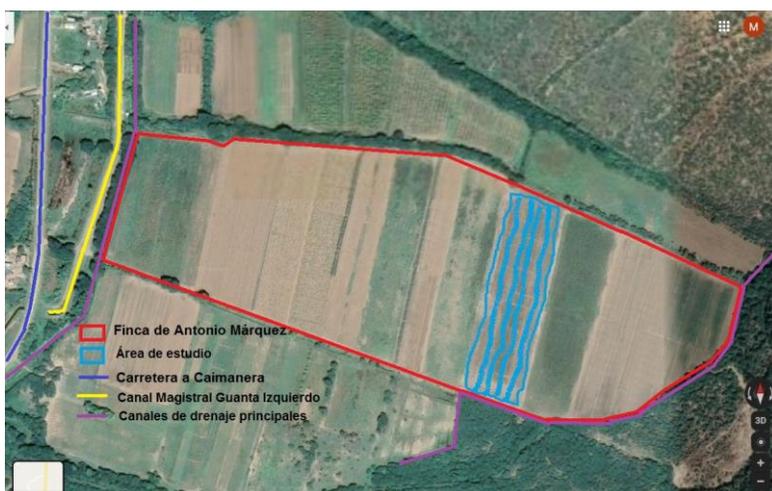


Figura 1. Representación gráfica del área de estudio.

Para el monitoreo se tomó en cuenta la información existente en el Instituto de Suelos sobre la salinidad, acerca de los estudios realizados en todo el país. Se consultó bibliografía nacional e internacional sobre la temática, además de especialistas de renombre en este tema, así como, se analizó la información actualizada colectada en el área de estudio.

De esta manera se propone la siguiente estructura para el monitoreo:

3.2. Diagnóstico

Se recopilaron las bases cartográficas e informes de la zona, se realizaron recorridos exploratorios para corroborar los factores vegetación, relieve, biodiversidad, hidrología, cobertura del suelo y estado general del área.

Para la caracterización climática se utilizó una serie de datos de 31 años, 1989 – 2019. Se utilizaron los datos del pluviómetro 630 “La Juanita” (km 10 de la carretera a Caimanera, 15 m de altitud, localización 20° 8´ N y 75° 14´ W), de la red del INRH y la Estación 78368 “Guantánamo” del Sistema Meteorológico en Cuba. Ambas estaciones de monitoreo son representativas de la zona de estudio para estimar el comportamiento climático.

Se analizaron y estimaron los valores medios mensuales y anuales de la serie climática (31 años) 1989 – 2019 para las variables meteorológicas:

- Temperatura ambiente máxima, mínima y media en grado Celsius (°C).
- Precipitación en milímetros (mm).
- Humedad relativa máxima, mínima y media en por ciento (%).
- Evaporación en milímetros (mm).
- Evapotranspiración potencial en milímetros (mm).
- Velocidad de los vientos en kilómetros por hora (km/h).

Para la caracterización de las aguas superficiales se tuvo en cuenta el sistema de riego empleado en la finca así como la fuente de abasto de agua.

El área cuenta con dos canales de drenaje, uno se encuentra ubicado al inicio y el otro al final del campo agrícola, colectores que evacúan el agua del área hacia el río Guantánamo. Las dimensiones de los mismos son: 0,5 m ancho del fondo del canal, 1,5 m de altura, 5 m ancho superficial y 1,5 m de talud.

3.3. Procedimental

Se realizó un muestreo mensual de las aguas superficiales, en un punto ubicado en el km 9 ½ del canal magistral Guanta Izquierdo, de donde toma el agua la estación de bombeo.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Unidad de Ciencia y Técnica de Base (UCTB) del Instituto de Suelos en Guantánamo y la calidad del agua para riego fue evaluada por la NC 1048:2014. Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones. Esta última establece la clasificación y posibilidades de uso de la misma en 3 categorías: **Superior** (Calidad I), **Primera** (Calidad II) y **Segunda**

(Calidad III). En la Tabla 1 se muestran las diferentes determinaciones realizadas a las aguas.

Tabla 1. Determinaciones de laboratorio realizadas a las muestras de agua.

| Determinación | Método | NORMA CUBANA |
|---------------------------|-----------------|--|
| pH | Potenciométrico | NRAG 186:2011. SUELOS. DISOLUCIONES NUTRITIVAS. METODOS QUÍMICOS DE ANÁLISIS |
| Conductividad eléctrica | Conductimétrico | |
| Calcio y Magnesio | Titulación | |
| Sodio y Potasio | Flamometría | |
| Cloro | Titulación | |
| Sulfatos | Turbidimetría | |
| Carbonatos y bicarbonatos | Titulación | |

Además, se realizó el cálculo de la Relación de Absorción de Sodio ($RAS = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+})/2)^{1/2}$) y el Carbonato de Sodio Residual ($CSR = CO_3^{2-} + HCO_3^- - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$) para valorar los riesgos de sodicidad en el suelo.

Las aguas freáticas fueron monitoreadas mensualmente en tres (3) pozos de observación, instalados a una profundidad de 3 m, situados en línea recta, de Oeste a Este, ubicados en las coordenadas geográficas que aparecen a continuación:

| Pozos | Coordenada Este | Coordenada Norte |
|-------|-----------------|------------------|
| 1 | 669.070 | 153.490 |
| 2 | 669.280 | 153.440 |
| 3 | 669.580 | 153.430 |

La profundidad del agua en los pozos de observación se tomó con un sonador mecánico. A las muestras de agua freática se les realizaron las determinaciones descritas en la Tabla 1. Fueron evaluadas por los criterios de Rhoades *et al.* (1992).

La clasificación de suelos utilizada es la del Instituto de Suelos (1975), correlacionada con la de Hernández *et al.* (1999). La información primaria de suelos fue tomada del mapa básico de suelos 1:25 000 (MINAG, 1989).

Para evaluar la salinidad del suelo se muestrearon 9 puntos en forma de cuadrícula (Tabla 2), a la profundidad de 1 m y con intervalos de 20 cm.

Tabla 2. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

| Punto | Coordenada Este | Coordenada Norte |
|--------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 669.394 | 153.309 |
| 2 | 669.402 | 153.420 |
| 3 | 669.409 | 153.554 |
| 4 | 669.380 | 153.560 |
| 5 | 669.368 | 153.425 |
| 6 | 669.361 | 153.317 |
| 7 | 669.331 | 153.320 |
| 8 | 669.336 | 153.430 |
| 9 | 669.340 | 153.575 |

A cada muestra de suelo se le determinó el pH en agua por el método potenciométrico (Instituto de Suelos, 1985) y el porcentaje de materia orgánica por método de Walkley – Black (Instituto de Suelos, 1985). Para la determinación de la composición de sales se utilizó la NC 209:2002. Calidad del suelo. Determinación de los aniones y cationes solubles en el extracto y el porcentaje de saturación de la pasta de suelos afectados por la salinidad. Los valores de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) fueron calculados por la ecuación (1) de Richards (1954). Los valores del Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) se determinaron por la ecuación (2), propuesta por USSL (1954).

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (1)$$

$$PSI = 1,475 (RAS) / 1 + 0,0127 (RAS) \quad (2)$$

Se evaluó la salinidad en el área de estudio, según la NC 776:2010 Calidad del suelo — Evaluación de la afectación por salinidad (Tablas 3, 4 y 5).

Tabla 3. Rangos de evaluación de la salinización global, a partir de la Conductividad Eléctrica (CE).

| Símbolos | Gradaciones dS·m ⁻¹ | Evaluación de la salinización |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| S ₀ | < 1 | No Salino |
| S ₁ | 1 a 2 | Débilmente Salino |
| S ₂ | 2 a 4 | Medianamente Salino |
| S ₃ | 4 a 6 | Salino |
| S ₄ | 6 a 8 | Fuertemente Salino |
| S ₅ | > 8 | Muy Fuertemente Salino |

Tabla 4. Rangos de evaluación para la sodicidad global (PSI).

| Símbolos | % Na ⁺ | Afectación |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| Na ₀ | < 5 | Normal |
| Na ₁ | 5 a 10 | Ligeramente alto |
| Na ₂ | 10,1 a 15 | Medianamente Alto |
| Na ₃ | 15,1 a 30 | Alto |
| Na ₄ | > 30 | Extremadamente alto |

Tabla 5. Rangos de evaluación del pH en agua.

| Símbolos | pH | Valoración |
|-----------------|-------------|-----------------------|
| pH ₁ | < 5,00 | Muy ácido |
| pH ₂ | 5,00 a 5,50 | Ácido |
| pH ₃ | 5,51 a 6,00 | Medianamente ácido |
| pH ₄ | 6,01 a 6,50 | Ligeramente ácido |
| pH ₅ | 6,51 a 7,50 | Neutrales |
| pH ₆ | 7,51 a 8,00 | Ligeramente alcalino |
| pH ₇ | 8,01 a 8,50 | Medianamente alcalino |
| pH ₈ | > 8,50 | Alcalinos |

Al pH, CE y PSI se les realizó el cartograma con el software Surfer Versión 10.1.561 (2011) de Golden Software, Inc, tomando las bases de datos confeccionadas en Ms Excell (2010).

Se determinó la CE de las aguas freáticas para los periodos lluviosos y pocos lluviosos y los resultados se compararon a partir de un análisis de comparación de medias. Igualmente se determinó la relación entre CE de las aguas freáticas y la profundidad del manto freático y entre CE de las aguas freáticas y la CE del suelo, para ello aplicó un análisis de correlación lineal. En todos los casos se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1.

3.4. Conclusiva

En el informe de monitoreo se realizará una relatoría de todos los aspectos contenidos en la propuesta, así como, los resultados obtenidos en cada monitoreo. Asimismo, se diseñará un plan de manejo correctivo y/o de mitigación que permita a corto, mediano y largo plazo, dar seguimiento a las recomendaciones derivadas de cada aspecto analizado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico del agroecosistema afectado por salinidad en la zona sur del Valle de Guantánamo.

4.1.1. Geología y geomorfología

El área está formada fundamentalmente por la formación San Luis (SLU), que aflora en la región sur – oriental de la provincia, representada por una gran variedad de rocas clásticas, terrígenas, carbonatadas, de granulometría variada desde las arcillas hasta los conglomerados; además contiene calizas laminares o de capas gruesas. Se caracteriza por el predominio de arenisca de grano fino, medio y de aleurolitas carbonatadas, las cuales, en conjunto constituyen más del 90% de la formación. Se encuentra en el basamento del Valle de Guantánamo, contiene localmente sales solubles, por lo que ha representado una de las principales fuentes de salinización del manto freático (Cintra *et al.*, 2016).

Ortega y Forbes (1994) plantean que en esta formación predominan además las lutitas que le confieren una gran impermeabilidad vertical, el agua puede moverse horizontalmente a través de los estratos más permeables, o verticalmente, por las grietas y fisuras siempre presentes.

Estos autores afirman que al menos el periodo final de la última glaciación fue árido en el Valle de Guantánamo, lo que creó condiciones para la conservación de las sales que llegaban desde distintas fuentes, incluyendo el aporte eólico. Con el advenimiento de las fases pluviales postglaciales, las sales se lavaron de los suelos y el paisaje, pero una parte de ellas se movió hasta el manto freático.

4.1.2. Relieve

DMPF (2015) describe que se caracteriza por tener un relieve llano con algunas ondulaciones y micro relieve sin depresiones con pendientes que no sobrepasan el 2 %. Se encuentra entre la cota 10 y 20 msnm. La altitud media sobre el nivel del mar está entre las cotas de 2 a 7 m.

4.1.3. Suelos

De acuerdo al Mapa Básico de Suelos 1:25 000 (1989) se clasifican como Aluviales poco diferenciados (Instituto de Suelos, 1975), que correlacionan con Fluvisoles (Hernández *et al.*, 1999), sobre materiales transportados, salinizados y de textura loam arcillosa. Son medianamente profundos (51- 90 cm), en su mayoría con presencia de carbonatos, que en altas concentraciones puede afectar la profundidad efectiva; de poca erosión, de poca profundidad efectiva (30 cm), topografía llana (0,5 – 1,0 %) y el drenaje superficial, interno y general es moderado. El pH en cloruro de potasio (KCl) oscila entre 7,05 - 7,10, evaluado de neutro a ligeramente alcalino y el contenido de materia orgánica se comporta de muy bajo a bajo. En la Tabla 6 se resumen las principales características físico – químicas del suelo.

Tabla 6. Descripción del perfil de suelo según Mapa Básico 1:25 000.

| Descripción | Valor | Clasificación |
|---|-------|----------------------|
| Propiedades Físicas | | |
| Elevación Capilar en mm 5h (E.C) | 120 | Baja |
| Límite Superior de Plasticidad % (LSP) | 79,4 | Plástico |
| Límite Inferior de Plasticidad % (LIP) | 25,6 | Ligeramente Plástico |
| Índice de Plasticidad (IP) | 53,8 | Muy Plástico |
| Higroscopicidad seca al aire (hy) | 8,7 | Mediano |
| Higroscopicidad en Cloruro de amonio (hy NH ₄ Cl) | - | Bajo |
| Peso específico en g. cm ⁻³ (P.e.) | - | Mediano |
| Agroquímico | | |
| Fósforo Asimilable en mg. 100g ⁻¹ (P ₂ O ₅) | 0,5 | Muy Bajo |
| Potasio Asimilable en mg. 100g ⁻¹ (K ₂ O) | 25 | Bajo |
| Materia Orgánica en % (MO) | 1,06 | Bajo |
| Propiedades Químicas | | |
| pH H ₂ O (valor medio) | 8,55 | Alcalino |
| pH KCl (valor medio) | 7,5 | Ligeramente Alcalino |

| Cationes intercambiables Cmol (+). kg ⁻¹ | | |
|---|-------|-------|
| Calcio (Ca ⁺⁺) | 35,40 | Medio |
| Magnesio (Mg ⁺⁺) | 5,80 | Medio |
| Potasio (K ⁺) | 0,42 | Bajo |
| Sodio (Na ⁺) | 2,50 | Medio |
| Valor T | 42,80 | Alto |
| Relación Ca/Mg | 6,10 | Alto |

INRH (1992), demostró la relación entre la profundidad de aparición del manto freático y la mineralización del mismo, además de comprobar que la profundidad de aparición de la capa salina en cm en los suelos, está en dependencia del nivel de las aguas freáticas, como se expresa en la Tabla 7.

Tabla 7. Relación entre el nivel de ascenso del manto freático y la profundidad de aparición de la capa salina en el perfil del suelo.

| Nivel de las aguas freáticas (m) | Profundidad capa salina en el perfil desde la superficie (cm) |
|----------------------------------|---|
| 2,0 – 2,5 | 80 – 120 |
| 1,5 – 1,9 | 50 – 80 |
| 1,0 | 15 – 25 |
| 0,5 | 3 – 7 |

Otero *et al.* (2008) explican que en esta zona se acumularon las sales provenientes del interperismo de las rocas de las alturas colindantes, bajo un clima casi desértico que ocurrió desde el Pleistoceno hasta el Holoceno. Las sales quedaron sobre una formación geológica en la que predominan las areniscas de grano fino, de muy baja permeabilidad, lo que provocó la salinización del manto freático y éste la salinización de los suelos, sobre todo a partir de mediados del siglo XX, bajo la influencia del hombre.

El factor antrópico mantiene una influencia marcada sobre los procesos de salinización secundaria, esto lo corrobora el hecho de que solo el 18,4 % del área bajo riego están beneficiadas con sistemas de drenaje, influye además en tal situación el desarrollo del programa acuícola en la zona de la Jabilla, cuyos estanques sin impermeabilizar, mantienen una elevada y constante carga hidráulica en una región de difícil evacuación de las aguas (Borges *et al.*, 1998, Cintra *et al.*, 2016).

Flores *et al.* (1996) refieren que en el Valle de Guantánamo, en las décadas de 1970 y 1980, las áreas afectadas por la salinidad, así como el grado de éstas, se incrementó, haciéndose más evidente en las tierras más bajas donde se encontraba ubicada la Empresa Cañera Paraguay. Estos autores afirman que el aumento de la salinidad se debió a la elevación del manto freático, más que a las características del clima, considerando que en las condiciones naturales del momento, la tendencia al lavado de las sales predominaba sobre su acumulación.

Estos mismos autores afirman que otros estudios realizados en esta zona por Ortega *et al.* (1982) demostraron que la proporción de metros de canales de riego/km² a metros de canales de drenaje/km², no aumentó proporcionalmente, presentándose un aumento de canales de riego, sin establecimiento de canales de drenaje, lo que influyó significativamente en el aumento de la salinidad del área, así como su intensidad.

Sánchez *et al.* (2000) en el informe LADA del punto estable Matabajo encontraron que la salinidad del suelo en los primeros 60 cm del suelo alcanzaba valores medios de 1 607 mg.kg⁻¹, clasificados como ligeramente salinos. La mayor concentración de sales se presentó en la profundidad de 60 a 100 cm con niveles hasta 6 800 mg.kg⁻¹ (suelos muy fuertemente salinos), reafirmando la estrecha relación con el manto freático poco profundo y mineralizado. La profundidad del manto freático osciló desde 130 hasta 280 cm, con valores medios de 197,2 cm; y por lo general en el período analizado (1997 - 2000) fluctuó entre los 100 y 200 cm, por encima del nivel crítico reportado para esta zona (250 cm) por Diviatij y Avila (1978). De acuerdo al grado de mineralización de las aguas se observó una variación desde 3,60 g.L⁻¹ (salinizada) hasta 31,19 g.L⁻¹ (muy salina), como promedio alcanzan valores de 20,58

g.L⁻¹. Este hecho se corrobora con lo planteado por Cabrera (1992), en áreas bajo riego donde es fundamental mantener la eficiencia de los colectores de drenaje que logren abatir el manto freático mineralizado, por ser esta la causa fundamental de la salinización de los suelos del Valle de Guantánamo (Ortega *et al.*, 1982).

Lo antes expuesto ubica estos suelos entre los potencialmente salinos de la zona, debido a las condiciones climáticas desfavorables, de bajas y mal distribuidas precipitaciones, altas temperaturas y elevada evaporación durante todo el año.

Es válido destacar que, desde el año 2009 el área se beneficia con la ejecución del proyecto internacional CPP – OP15 “Fortalecimiento de capacidades para el planeamiento, toma de decisiones y sistemas regulatorios; sensibilización//Manejo sostenible de Tierras en Ecosistemas Severamente Degradados”. Aguilar *et al.* (2015) plantearon en el informe final del Proyecto 1 que se logró el incremento anual de las medidas de conservación y mejoramiento de los recursos naturales, siendo el mantenimiento del sistema de drenaje (3500 m) la medida que mayor influencia ejerció en el área debido a la tendencia a la salinidad por la cercanía del manto freático y la deficiente evaluación del agua de los campos, principales factores limitantes.

Se logró un incremento en el empleo de prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente, como la aplicación de materia orgánica, bioproductos (biofertilizantes, bioestimulantes), la reforestación de los linderos que en su conjunto contribuyen con la disminución de los procesos degradativos; así como implementar la tecnología de preparación de suelos con salinidad, basada en el laboreo mínimo, y la no inversión del prisma del suelo (Borges *et al.*, 1996), siendo posible por el sistema de maquinarias facilitadas por este proyecto: tiller, sembradora – fertilizadora y voleadora de abonos orgánicos (Aguilar *et al.*, 2015).

4.1.4. Cobertura del suelo

El principal uso de los suelos de esta parte del Valle de Guantánamo es la producción de viandas y hortalizas, escenario también presente en la finca de Antonio Márquez (Figura 2).

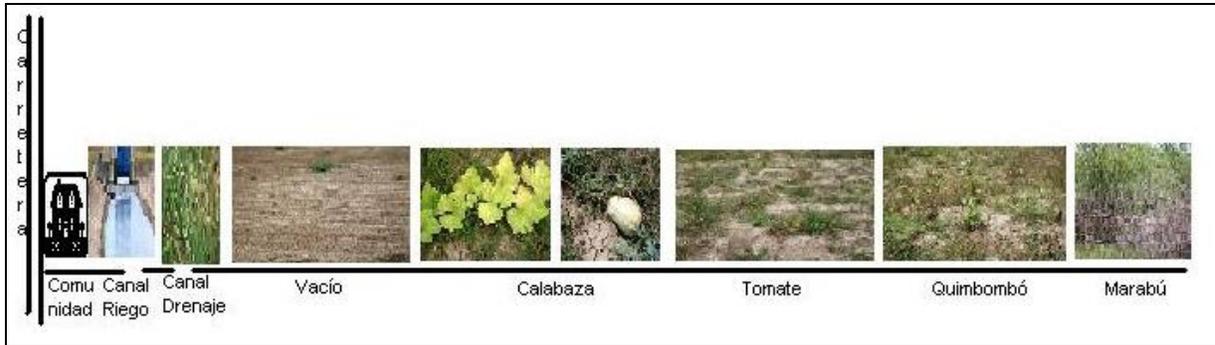
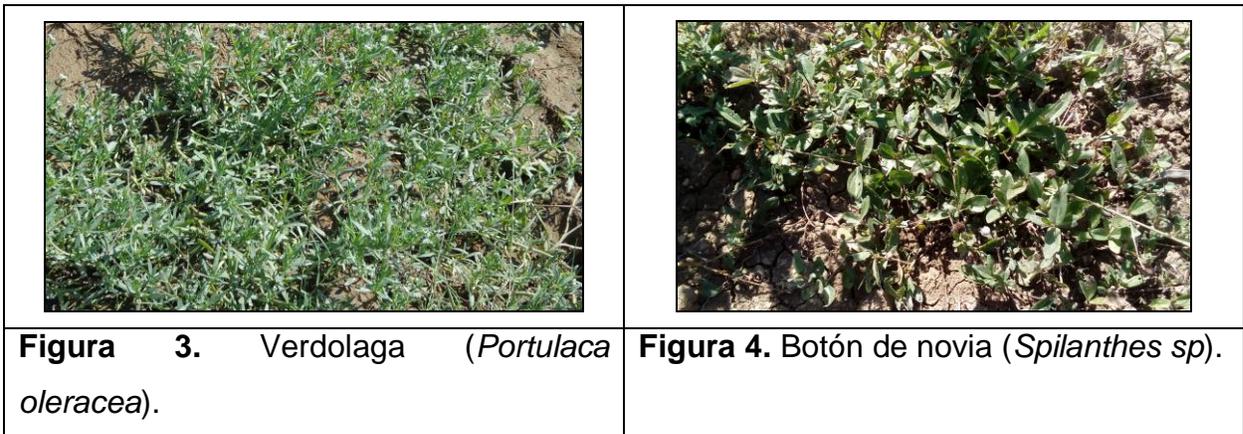


Figura 2. Perfil de evaluación de la vegetación (Sánchez *et al.*, 2000).

Se observa escasa presencia de árboles en el área agrícola y de cobertura de protección a los suelos, lo que incide en los procesos degradantes en los mismos. Predominan las plantas xerofíticas y espinosas como cactus, tunas, verdolagas, etc. También encontramos las arbustivas como uvita (*Cordia alba*), marabú (*Dichrostachys cinerea*), entre otras y malezas como Lechosa (*Euphorbia sp*), Moriviví (*Mimosa púdica*), Malva bruja (*Sida glutinosa*), Guisaso Baracoa (*Xanthium chinense* L), Verdolaga (*Portulaca oleracea*) y Botón de novia (*Spilanthes sp*) (Figuras 3 y 4). Estas dos últimas son plantas indicadoras de la existencia de concentraciones de sales en el suelo y de problemas con el drenaje, respectivamente.



Según GEOCUBA (2010), en la actualidad existe una vegetación secundaria con alto grado de degradación de la vegetación original, dada la influencia antrópica.

4.1.5. Evaluación de las variables climáticas

El extremo Sur de la llanura de Guantánamo es seco, con un clima semidesértico (Bs) según la clasificación de Köppen (modificado), los valores de la evaporación media anual superan los 2300 mm en toda su extensión mientras que los valores de la precipitación media anual están entre 650 a 800 mm (Borges *et al.*, 1998)

Respecto a las condiciones climáticas desfavorables de bajas precipitaciones, alta evaporación potencial y altas temperaturas de la zona semiárida del sur de Guantánamo, se han referido varios autores. La UNESCO (1977), citado por Cabrera y Montero (1994) reportan un clima sub árido (tropical seco); Borges *et al.* (1998), al analizar el comportamiento de varios índices climáticos señalan características áridas y semiáridas para la zona, y reportaron que los coeficientes de humedecimiento edafoclimáticos son de 0,80 y 0,82 para época seca y húmeda respectivamente, clasificados como muy bajos, según metodología reportada por Rivero y Sánchez (1996).

De acuerdo al Instituto de Meteorología en Guantánamo (2020), el área de estudio se caracteriza por acumulados de precipitación medio anual de 749,8 mm, temperatura máxima media mensual de 32,6 °C, temperatura mínima media de 21,1 °C.

La humedad relativa máxima media y mínima media es de 91,2 y 45,3 % respectivamente. Este elemento climático presenta una notable oscilación diaria, entre 90% o más en las madrugadas y primeras horas de la mañana, y entre 43-55% en las primeras horas de la tarde. La evaporación es muy elevada y estable, con una media anual de 2384,1 mm y registros medios superiores a 100 mm todos los meses. La evapotranspiración potencial es también elevada con una media anual de 1598,3 mm y registros mensuales altos y estables.

La localidad de estudio es poco ventosa, con una frecuencia de 42% de calma. La velocidad media para la serie analizada es baja, de 11,7 km/h. Los vientos predominantes son generalmente vientos locales, durante el día brisa del mar y viento de valle con dirección de sur al sudeste y en la noche viento de montaña del nordeste al norte.

La radiación solar de la localidad de estudio es elevada, en correspondencia con la condición de zona tropical y por demás, con una nubosidad relativamente pobre, tanto desde el punto de vista de la duración de la luz o brillo solar como desde el punto de vista de la intensidad de la radiación solar.

De todo lo anterior se concluye que, para la serie climática 1989 - 2019 las principales características climáticas de la localidad de Matabajo fueron las siguientes:

- Los acumulados medios mensuales de lluvias suelen ser en el rango de 20 y 120 mm, con una distribución muy heterogénea con muchos acumulados mensuales por debajo de los 10 mm. Por lo que son frecuente rachas por encima de la decena (10 días) consecutivos sin lluvias.
- Las temperaturas extremas medias (máximas y mínimas) oscilan entre 32,6 °C y 21,1 °C respectivamente.
- Presenta valores de humedad relativa máximo y mínimo medios de entre 91,2% y 45,3% con amplio rango de variación diaria.
- La pérdida de humedad por evapotranspiración es elevada en toda la serie siendo 2,1 veces mayor que las precipitaciones.
- Los vientos se caracterizan por ser variables y débiles, con velocidad media promedio de 11,7 km/h para la serie.

En la Tabla 8 se observa el comportamiento promedio de los principales elementos climáticos en el área.

Borges *et al.*, 1998 citado por Cintra *et al.* (2016) reportan que el comportamiento de las precipitaciones y su distribución, indican la existencia de un periodo seco de noviembre hasta abril, mientras que de mayo a octubre se registra el periodo lluvioso. Concluyendo que el principal problema de esta zona es la falta de agua, debido a las escasas precipitaciones y la alta evaporación, las que determinan entre otros parámetros, la existencia de un régimen de humedad arídico.

Tabla 8. Datos climáticos medios mensuales, serie 1989 – 2019.

| VARIABLES CLIMÁTICAS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Precipitación (mm) | 23,5 | 22,4 | 42,8 | 56,2 | 111,3 | 61,7 |
| Evaporación (mm) | 183,9 | 195,0 | 226,0 | 219,5 | 198,6 | 208,1 |
| Evapotranspiración potencial (mm) | 129,7 | 141,7 | 152,5 | 150,2 | 130,3 | 136,7 |
| Temperatura mínima (°C) | 18,6 | 18,6 | 19,3 | 20,6 | 21,7 | 22,7 |
| Temperatura máxima (°C) | 30,8 | 31,2 | 31,7 | 32,5 | 32,6 | 33,7 |
| Temperatura media (°C) | 24,7 | 24,9 | 25,5 | 26,6 | 27,2 | 28,2 |
| Humedad relativa mínima (%) | 43,2 | 40,2 | 38,4 | 41,1 | 47,2 | 47,7 |
| Humedad relativa máxima (%) | 91,2 | 90,4 | 88,7 | 89,4 | 91,8 | 91,8 |
| Humedad relativa media (%) | 67,2 | 65,3 | 63,6 | 65,3 | 69,5 | 69,8 |
| Velocidad del viento (m/seg) | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 3,4 | 3,2 | 3,3 |
| | | | | | | |
| VARIABLES CLIMÁTICAS | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| Precipitación (mm) | 36,0 | 68,3 | 88,6 | 118,1 | 94,2 | 33,1 |
| Evaporación (mm) | 226,9 | 217,5 | 186,0 | 197,6 | 189,0 | 176,4 |
| Evapotranspiración potencial (mm) | 155,6 | 140,4 | 116,0 | 104,8 | 115,4 | 124,8 |
| Temperatura mínima (°C) | 23,0 | 23,1 | 22,8 | 22,4 | 20,9 | 19,6 |
| Temperatura máxima (°C) | 34,6 | 34,6 | 33,9 | 32,7 | 31,7 | 31,0 |
| Temperatura media (°C) | 28,8 | 28,9 | 28 | 27,6 | 26,3 | 25,3 |
| Humedad relativa mínima (%) | 43,8 | 44,5 | 48,2 | 52,9 | 50,0 | 46,4 |
| Humedad relativa máxima (%) | 89,6 | 91,4 | 93,1 | 93,5 | 92,0 | 91,6 |
| Humedad relativa media (%) | 66,7 | 68 | 71 | 73,2 | 71 | 69 |
| Velocidad del viento (m/seg) | 3,4 | 3,0 | 2,9 | 3,0 | 2,9 | 3,0 |

Fuente: Instituto de Meteorología Provincia Guantánamo, 2020.

En Instituto de Meteorología en Guantánamo (2020) refiere que el comportamiento medio de las principales variables climáticas en los años 2018 y 2019 fue como se refleja en las Figuras 5 y 6.

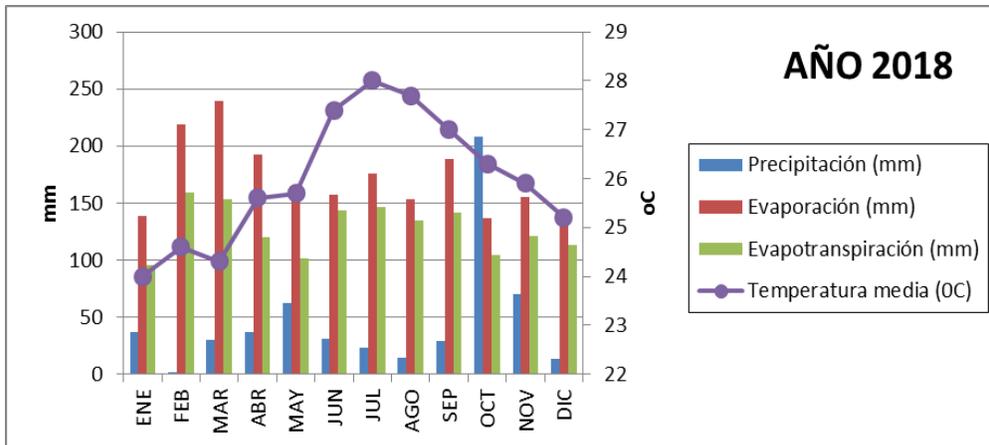


Figura 5. Comportamiento de las principales variables climáticas, año 2018.

Se observa la ocurrencia de precipitaciones en 9 meses por debajo de los 50 mm, 2 meses entre 50 y 100 mm y solo uno (octubre) sobrepasa los 200 mm. La evaporación supera ampliamente a las precipitaciones, excepto en el mes de octubre; similar comportamiento ocurre con la evapotranspiración. En cuanto a las temperaturas medias mensuales, éstas se encuentran por encima de los 24 °C durante todo el año.

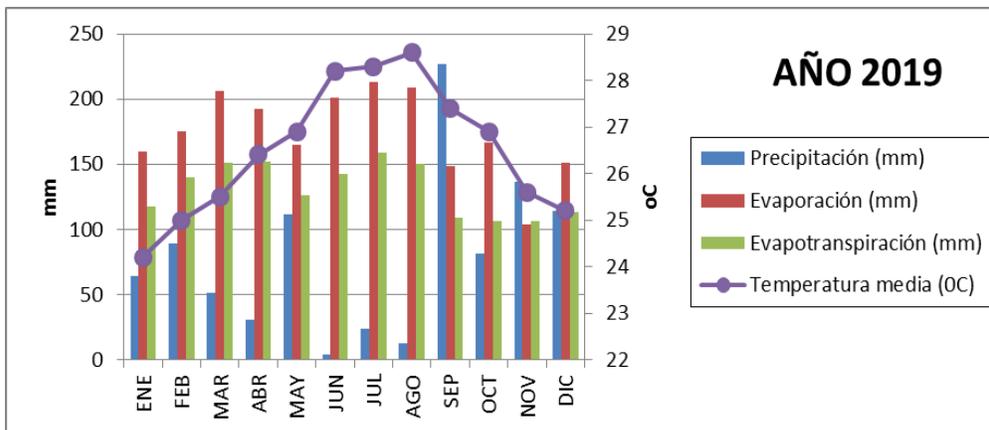


Figura 6. Comportamiento de las principales variables climáticas, año 2019.

Durante el año 2019 el comportamiento de las precipitaciones fue ligeramente mejor, encontrándose 5 meses por debajo de 50 mm, 3 meses entre 50 y 100 mm, y 4 por encima de 100 mm. El mes de septiembre fue el único en sobrepasar los 200 mm. La evaporación superó a las precipitaciones todo el año, excepto en los meses de septiembre y noviembre; de igual forma ocurrió con la evapotranspiración. Las

temperaturas medias mensuales se mantuvieron por encima de los 24 °C todo el año.

Al respecto, Cintra *et al.* (2016) afirman que la presencia de suelos salinos (con diferentes grados de salinización) o potencialmente salinos, así como la productividad de los mismos, está determinada por las condiciones climatológicas desfavorables como escasas precipitaciones, altas temperaturas y elevada evaporación; las propiedades hidrogeológicas y geomorfológicas, las diferentes categorías de drenaje, así como por su manejo actual.

4.1.6. Sistemas de riego y drenaje

En la zona existe una red hidrográfica definida, compuesta por los ríos Jaibo y Guantánamo que atraviesa el área por el oeste, en dirección Norte - Sur. Ortega y Forbes (1994) plantearon que la red hidrológica autóctona se caracteriza por la poca profundidad y el paralelismo de sus cauces. Este tipo de red, de poca organización, es típica de los paisajes áridos y semiáridos donde predominan los procesos de pediplanación.

Según Aguilar *et al.* (2015), investigaciones realizadas por el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) en la zona en los años 1980-1990, concluyeron que los suelos, de composición mecánica media clasificados como franco arcilloso, se caracterizan por una velocidad de infiltración de 5 cm.h⁻¹ y una conductividad hidráulica de 1 m.día⁻¹. Durante el período de lluvias se forma un manto freático que varía entre 1 y 3,5 m con una profundidad del estrato impermeable (presencia de rocas) entre 4 y 7 m.

La fuente de agua superficial que se utiliza para el riego agrícola en el área proviene del canal revestido Guanta Izquierdo, que se abastece de la presa La Yaya, situación que favorece la buena calidad de estas aguas (Figura 7). La finca objeto de estudio se sirve de este canal a través de un sistema de riego por aspersión semiestacionario de baja intensidad (Figura 8), instalado entre los años 2009 y 2010 en el marco del proyecto internacional CPP – OP15.

Este cuenta con sistema de bombeo eléctrico, las tuberías maestras y distribuidoras fijas (hidrantes), además de los laterales y aspersores que se desplazan por posiciones para regar toda el área.

Aguilar *et al.* (2015) afirman que con su instalación se obtuvieron beneficios económicos y ambientales, y que el agua utilizada para el riego se redujo en 260 m³ para producir una tonelada de productos. Asimismo, propició la disminución de la recarga del manto freático, y con ello los riesgos de incremento de la salinidad (DMPF, 2015).



Figura 7. Canal magistral de riego Guanta Izquierdo.



Figura 8. Sistema de riego por aspersión de baja intensidad instalado.

La finca está rodeada por dos canales de drenaje principales superficiales, que la bordean de norte a sur, a la entrada y al final. En la Figura 9 se puede observar el corte transversal empleado para la construcción de los mismos y tienen como objetivo fundamental el control de la profundidad de la capa freática, de forma tal que el balance de aguas y sales dentro de la zona radicular sea el óptimo para los requerimientos del cultivo en una condición de suelos y clima específico.

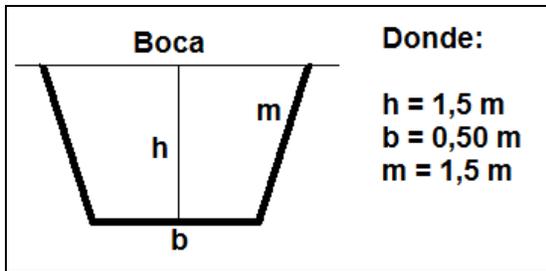


Figura 9. Corte transversal del diseño de los canales de drenaje.

La red de drenaje ha recibido rehabilitación en los últimos años, con el apoyo del Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, lo que ha permitido mantener la limpieza de los canales. De esta manera se garantiza un funcionamiento eficiente de los mismos, que permite cumplir su objetivo principal: evacuar las aguas no solo de esta parcela sino de otras que se encuentran al norte, efectuando su descarga al río Guantánamo (Figura 10).



Figura 10. Estado general de los canales de drenaje principales que rodean la finca de Antonio Márquez.

4.1.7. Calidad del agua superficial

Según los reportes analizados en el Laboratorio Provincial de Suelos, ubicado en la UCTB de Suelos Guantánamo, la calidad del agua que se abastece a través del canal Guanta Izquierdo es de Calidad I (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de indicadores que conforman la calidad de las aguas para riego.

| pH | CE (dS.m ⁻¹) | SSD (mg.L ⁻¹) | ANIONES (mmol.L ⁻¹) | | | | CATIONES (mmol.L ⁻¹) | | | |
|------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------|----------------|
| | | | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
| 7,37 | 0,510 | 375,26 | 0,0 | 3,200 | 0,500 | 3,000 | 1,250 | 2,250 | 2,760 | 0,018 |

De acuerdo a la NC 1048:2014, se evalúan los valores obtenidos en el grupo VII de subtipo de suelos (suelos aluviales). El pH se encuentra dentro del intervalo permisible (4,5 a 8,3), la conductividad eléctrica (CE) es menor de 0,62 dS.m⁻¹ y las sales solubles disueltas (SSD) son menores de 400 mg.L⁻¹. Asimismo, los valores de la composición de aniones y cationes se comportan por debajo de lo establecido para esta categoría.

Los iones predominantes son el Na⁺ y el HCO₃⁻. Por ello se calculan además, el RAS por el efecto dispersante del sodio debido a su baja carga, elevada capa de hidratación y baja polaridad, y el CSR que se emplea para predecir la tendencia del calcio y el magnesio a precipitar en el suelo cuando se riega con aguas altamente carbonatadas. El RAS calculado es de 2,09 mmol.L^{-0.5} y el CSR es igual a 0,3 mmol.L⁻¹; ambos por debajo del máximo establecido en la NC.

Estos resultados se corroboran con Richards (1954), quien clasificó los valores de RAS, Excelente (menos que 10 mmol.L^{-0.5}) y el CSR, Buena (menor que 1,25); por tanto no se observa peligro de sodificación del suelo.

Al respecto Sophocleous (2002); Arumi *et al.* (2012) plantean que el estudio de la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas se ha orientado principalmente hacia dos grandes áreas: i) procesos de recarga y descarga de aguas subterráneas y ii) estudios de los procesos bioquímicos y geo-ecológicos que ocurren en la capa de sedimentos que se encuentra bajo los cuerpos de agua superficiales y su efecto en la calidad del agua.

Asimismo, Tartabull y Betancourt (2016) plantean que la salinización – alcalinización de suelos debido al uso de agua de riego bicarbonatada sódica conduce a una

drástica disminución de la permeabilidad y favorece la aparición de enfermedades, desequilibrios nutricionales y disminución de los rendimientos.

4.1.8. Calidad del agua subterránea

En los climas áridos y semiáridos, con presencia de suelos salinos, uno de los contaminantes principales en las aguas procedentes de las áreas agrícolas son las sales disueltas, las que en esta zona se encuentran enriquecidas por los iones sodio y bicarbonatos, fundamentalmente.

La calidad del agua subterránea del área es clasificada de ligeramente salinizada, según resultados acumulados durante años en la UCTB del Instituto de Suelos en Guantánamo, con valores que oscilan entre $0,80 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y $1,26 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Herrera *et al.* (2009) al referirse a la calidad del agua subterránea destacan que estas son normalmente de menor calidad que las aguas que le dieron origen, debido a que el movimiento relativamente lento del agua sobre o a través del perfil del suelo permite un íntimo contacto con las partículas de arcilla, materia orgánica y microorganismos, por lo que los nutrientes solubles y otros compuestos químicos, bien hayan sido aplicados al suelo, o sean constituyentes del mismo, pueden ser disueltos por esta agua y lavados del perfil. Refieren además, que otros materiales también pueden ser removidos a través de la solución, por adsorción y por precipitación.

4.1.9. Biodiversidad

Las condiciones extremas de clima y suelo han propiciado la existencia de sólo aquellas formas capaces de adaptarse a las mismas. La cubierta vegetal variada y la totalidad de especies de plantas, han sido influenciadas por la ubicación geográfica, la formación geológica, el suelo y los elementos regionales afectados por los componentes espaciales.

Se aprecia pérdida de la diversidad biológica, dada por la transformación de los espacios naturales, la introducción de especies foráneas, y el desplazamiento de las especies autóctonas de sus hábitats naturales.

La fauna es fundamentalmente doméstica, apreciándose con cierta facilidad las aves, como son el Ruiseñor (*Myadestes elisabeth*), el Zonzón (*Chlorostilbon ricordii*), el Totí (*Dives atrovioleceus*), el Negrito (*Melopyrrha nigra*), la Paloma Rabiche (*Zenaida macroura*), la Tojosa (*Columbina passerina*) y el Sinsonte (*Mimus polyglottos*), entre otros. Se observan reptiles, representados por variedades de lagartos y por el Majá de Santa María (*Epicrates angulifer*), en peligro de extinción, así como algunas variedades de moluscos.

La vegetación es muy variada encontrarse desde herbáceas (gramíneas), arbustiva (malva (*Corchorus hirsutus*), aroma amarilla (*Acacia farnesiana*)) hasta las arbóreas como guásima (*Guasuma ulmifolia*), majagua (*Tiliparitis elatus*), ateje (*Cordia collococca*), cedro (*cedrela odorata*), palma real (*Roystonea regia*), algarrobo del país (*Samanea saman*), neen (*Azadirachta indica*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), uvita (*Cordia alba*), tamarindo chino (*Pithecellobium dulce*). Entre los frutales mango (*Manguifera indica*), tamarindo (*Tamadindus indica*), aguacate (*Persea americana*), anón (*Annona squamosa*) y guayaba (*Psidium guajava*). Se pudo observar que algunas de las especies inventariadas son características de bosque secundario (guásima, aroma) y bosque semicaducifolio (majagua, ateje, palma y cedro).

Este comportamiento está en correspondencia con lo planteado por González y Sotolongo (2007) y Fernández *et al.* (2015) quienes destacan que al destruirse la vegetación original se instalan especies arbustivas y arbóreas de poco valor y aquellas de valor carecen en su generalidad de individuos valiosos por su forma y desarrollo.

En los alrededores del área se observó la existencia de una pequeña plantación de coco (*Cocos nucifera*), caoba del país (*Swietenia mahagoni*), cedro (*cedrera odorata* L.) y moringa (*Moringa oleifera*) y la utilización como postes vivos de especies como el almacigo (*Bursera simaruba*) y Júpiter (*Gliricidia sepium*).

4.2. Monitoreo de un agroecosistemas afectados por salinidad

4.2.1. Suelo

Los resultados obtenidos en el muestreo de suelos permiten observar la variación en la clasificación de la salinidad del suelo que va desde no salino hasta salino. En la profundidad de 0 – 40 cm el suelo es no salino.

En todos los puntos muestreados, los valores de CE en la capa de 40 – 100 cm son mayores que en la capa de 0 – 40 cm, por lo que estamos en presencia de un suelo potencialmente salino. Se aprecia una variación de la CE desde $0,54 \text{ dS.m}^{-1}$ a $4,88 \text{ dS.m}^{-1}$, con valores medios de $1,19 \text{ dS.m}^{-1}$, clasificando el perfil como débilmente salino (Figura 11).

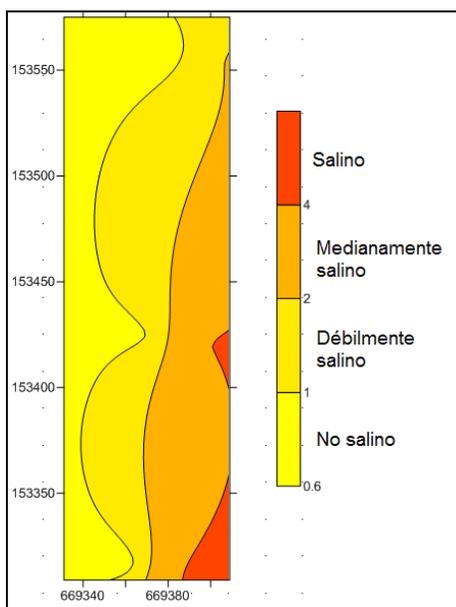


Figura 11. Cartograma de CE (dS.m^{-1}) a la profundidad de 40 – 100 cm.

Este comportamiento puede estar influenciado por la utilización de agua de buena calidad y el mantenimiento de los canales de drenaje que permiten su funcionamiento eficiente, y la correcta evacuación de las aguas.

Similares resultados fueron obtenidos por Aguilar *et al.* (2015) quienes reportaron valores de CE catalogados como débilmente salinos, y lo atribuyeron a las labores de limpieza y mantenimiento de los canales de drenaje, de conjunto con las aplicaciones de materia orgánica, el correcto laboreo del suelo, el empleo de nuevas y más

eficientes formas de riego, que impidieron el ascenso de los iones a las capas superficiales del terreno.

Por su parte, Sánchez *et al.* (2000) y Otero^b *et al.* (2010), describieron la presencia de sales en estos suelos en esta profundidad, reportando los mayores valores en la capa de 40 – 100 cm para los iones solubles.

En el caso del PSI, los valores oscilan desde 0,36 hasta 8,27, alcanzando valores medios de 2,18, clasificado de Normal. Se aprecia un comportamiento similar al de la CE, es decir, la capa de 40 – 100 cm en general, presenta mayores valores que la capa de 0 – 40 cm. Se evalúa la sodicidad Normal en todo el perfil del suelo en los puntos del 3 al 9 y ligeramente alto en los primeros 2 puntos (Figura 12).

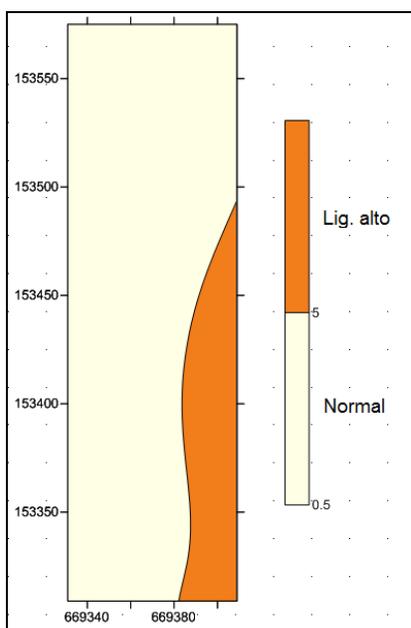


Figura 12. Cartograma de PSI a la profundidad de 40 – 100 cm.

Coras *et al.* (2014) plantean que cuando la concentración de sales solubles en el suelo es alta, ocurren modificaciones en las propiedades físicas de los suelos, estas dependen del tipo de suelo y de las sales que se encuentran en solución; niveles de salinidad altos pueden ocasionar también toxicidad a las plantas.

En el sureste del valle, se presentan condiciones climatológicas y geomorfológicas que propician la acumulación de sales en los suelos (Borges *et al.*, 1998) con lo que

se crea una situación difícil para la producción agropecuaria. Al respecto, Munns y Tester (2008) plantean que la salinidad de los suelos afecta la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Su efecto negativo se debe principalmente a dos componentes: el osmótico y el iónico.

Hernández *et al.* (2015) plantean que el estrés salino, causado por altas concentraciones de soluto, produce un déficit hídrico y un desequilibrio iónico en las células vegetales, que afectan la estructura y función de las membranas. De ahí que los efectos sobre las plantas dependen tanto de la tolerancia de cada especie y cultivar, como también del estado de desarrollo de la misma (Courel, 2019).

En la Figura 13 se muestra el comportamiento del pH a las profundidades 0 – 40 cm y 40 – 100 cm. En la profundidad de 0 – 40 cm oscila entre 7,39 y 7,73 y en la profundidad de 40 – 100 cm, entre 7,16 y 7,78, con valores medios de 7,55 y 7,54 respectivamente.

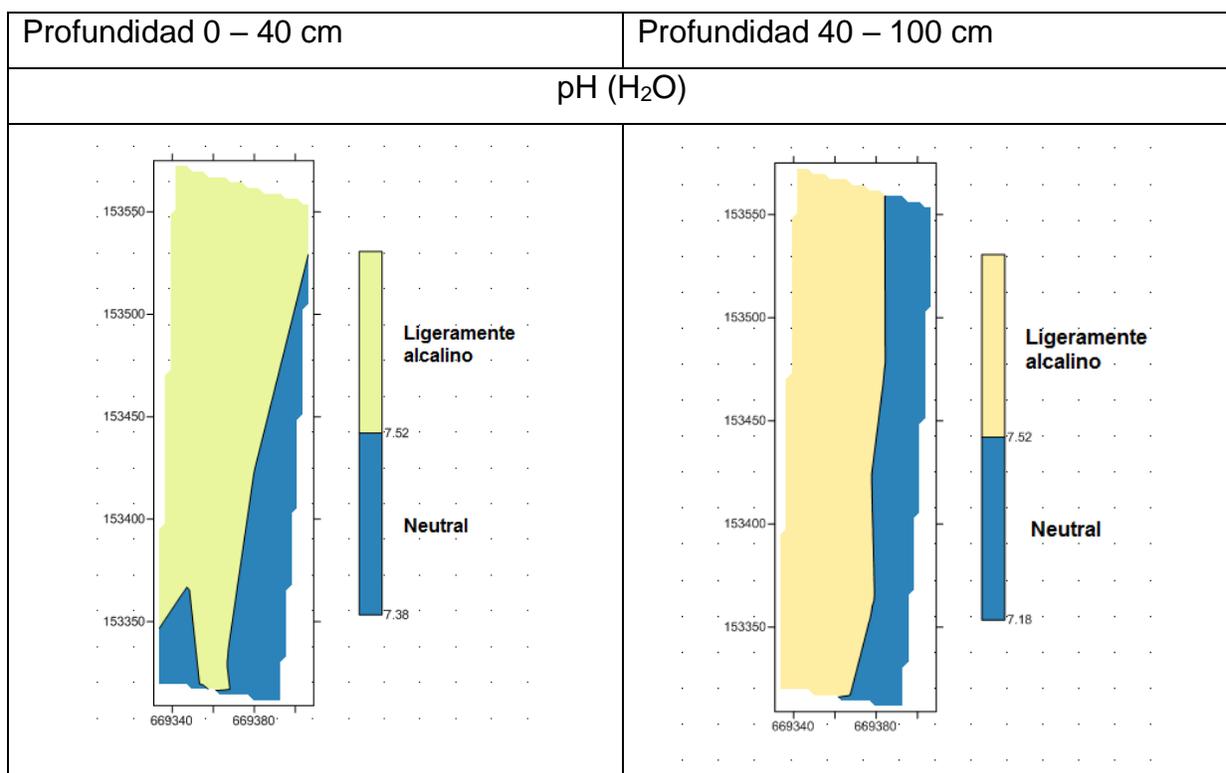


Figura 13. Cartogramas de pH (H₂O) a las profundidades de 0 – 40 cm y 40 – 100 cm.

El comportamiento en todo el perfil es similar y los valores medios se clasifican como ligeramente alcalinos. Estos valores se encuentran en una escala inferior a los obtenidos en el Mapa Básico 1:25 000 (1989), que clasificaban el pH en agua como Alcalino. Esto puede estar influenciado por los niveles de materia orgánica aplicados a estos suelos, las tecnologías de labranza conservacionistas implementadas, cambio de tecnología de riego y otras prácticas de manejo sostenible.

Sainz *et al.* (2011) plantean que el pH es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de los iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.

Asimismo, Anaya Flores (2015) plantea que por lo general los suelos salinos se caracterizan por poseer un pH alto, y que puede estar ocasionado porque las arcillas saturadas de sodio en presencia de agua de lluvia tienen propiedades particulares, por tanto con CO₂ disuelto, se hidrolizan, liberando Na⁺ y OH⁻, lo que alcaliniza el medio rápidamente, alcanzando valores de pH más altos; los que según Otero *et al.* (2002) pueden alcanzar valores de 9 y 10, e incluso más elevados.

En la Tabla 10 se muestran los valores medios de la composición iónica de los suelos en el área de estudio.

Tabla 10. Valores medios de la composición iónica del suelo.

| Aniones (cmol.kg ⁻¹) | | | | Cationes (cmol.kg ⁻¹) | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|----------------|
| CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
| 0,000 | 0,144 | 0,117 | 0,102 | 0,569 | 0,333 | 1,108 | 0,064 |

Se observa un predominio de los iones Na⁺ y HCO₃⁻ en el suelo, lo cual Otero *et al.* (2009) relacionan con la presencia dominante de estos iones en el manto freático mineralizado y cercano a la superficie.

Sánchez *et al.* (2000) destacan que las precipitaciones bajas y mal distribuidas durante el año y alta evaporación potencial, propician un bajo coeficiente de humedecimiento en el suelo (K = 0,26), no suficiente para garantizar los

requerimientos hídricos de los cultivos; que por una parte inciden en el ascenso capilar de las sales durante la época seca y por otra requiere del riego con buen manejo para no incrementar el nivel del manto freático.

Al respecto, Otero^b *et al.* (2010) afirman que existe una estrecha relación entre el contenido de sales en el manto freático y su presencia en los diferentes niveles del suelo.

En este aspecto, Hernández *et al.* (2015) afirman que altas concentraciones de Na⁺ en el suelo inhiben el crecimiento de las plantas, porque afectan la absorción del agua y algunos procesos bioquímicos, tales como la síntesis de proteína y asimilación de dióxido de carbono y nitratos, provocando en las plantas un desbalance de los compuestos orgánicos e inorgánicos requeridos, afectando su crecimiento.

Durante los años de la investigación (2018 - 2019) la parcela escogida se mantuvo en barbecho.

4.2.2. Monitoreo de la calidad de las aguas superficiales

En la Tabla 11 se muestran las medias de los análisis realizados a las aguas superficiales durante la investigación.

Tabla 11. Resultados de laboratorio de los muestreos de las aguas superficiales.

| Año | CE (dS.m⁻¹) | SSD (mg.L⁻¹) | pH |
|------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 2018 | 0,43 | 315,15 | 7,76 |
| 2019 | 0,55 | 377,84 | 7,81 |

La evaluación de las aguas es de calidad I (Superior), lo cual es atribuido a que el tránsito de estas aguas se realiza a través de un canal revestido, y proceden de la presa La Yaya, permitiendo que llegue hasta el área agua de buena calidad.

Tartabull y Betancourt (2016) plantean que el concepto de calidad de agua para riego se refiere a las características del agua que pueden afectar a los recursos suelo y cultivo en su uso a largo plazo; y afecta de forma muy relevante la estabilidad

estructural del suelo y a su capacidad para transmitir el agua y el aire, así como a las plantas cultivadas, por lo que constituye una variable a controlar en la agricultura de regadío, tanto a nivel de fuente como a nivel sumidero.

En este sentido, Castellón – Gómez *et al.* (2015) plantean que uno de los factores más importantes en la producción intensiva de cultivos después de la disponibilidad del agua, es su calidad, que consideran fundamental para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable de cualquier suelo.

4.2.3. Monitoreo de la profundidad del manto freático y la calidad de las aguas subterráneas

En la Figura 14 se muestra el comportamiento de la profundidad del manto freático (en metros) por mes, durante los años 2018 y 2019.

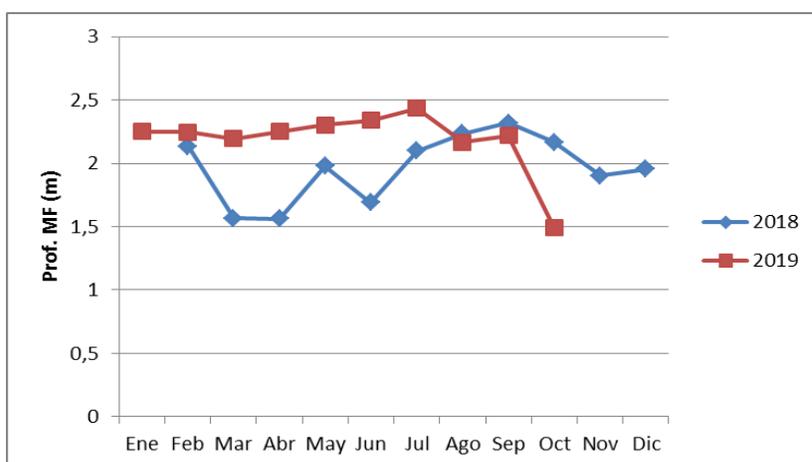


Figura 14. Profundidad del manto freático (m), años 2018 y 2019.

La profundidad del manto freático osciló en el año 2018 entre 1,11 m y 2,80 m, con una media de 1,96 m; y en el año 2019, entre 0,65 m y 3,00 m, promediando 2,19 m. Se observa una tendencia al ascenso por el aporte de las lluvias y al descenso en la época seca.

Estos resultados están en correspondencia con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2000), que reportaron valores medios del manto freático por encima del nivel crítico (2,50 m) determinado para esta zona por Diviatij y Avila (1978). De igual forma, Ricardo *et al.* (2018) afirmaron que con la introducción de prácticas de mejoramiento y conservación de suelos, cambio de método de riego por uno más eficiente y

mantenimiento de canales de drenaje, se produjo un abatimiento del manto freático salino hasta 1,5 m de profundidad como promedio.

Cabrera y Montero (1994) plantean que en áreas bajo riego es fundamental mantener la eficiencia de los colectores de drenaje que logren abatir el manto freático mineralizado, lo que es corroborado por Coras *et al.* (2014) quienes afirman que en los problemas de drenaje subterráneo se debe tener en cuenta la profundidad mínima a la cual se debe ubicar el nivel freático para que no cause disminución en la producción de los cultivos y se genere una salinización del suelo.

Los estudios de fluctuación de los niveles freáticos subterráneos son de mucha importancia ya que el movimiento de los mantos freáticos es la principal causa de los problemas de salinidad y drenaje (Coras *et al.*, 2014). En general, Hernández *et al.* (2015) consideran que el aumento de los suelos salinos se asocia con el mal drenaje.

En las Figuras 15 y 16 se muestra la relación de la profundidad del manto freático con las precipitaciones y la evaporación.

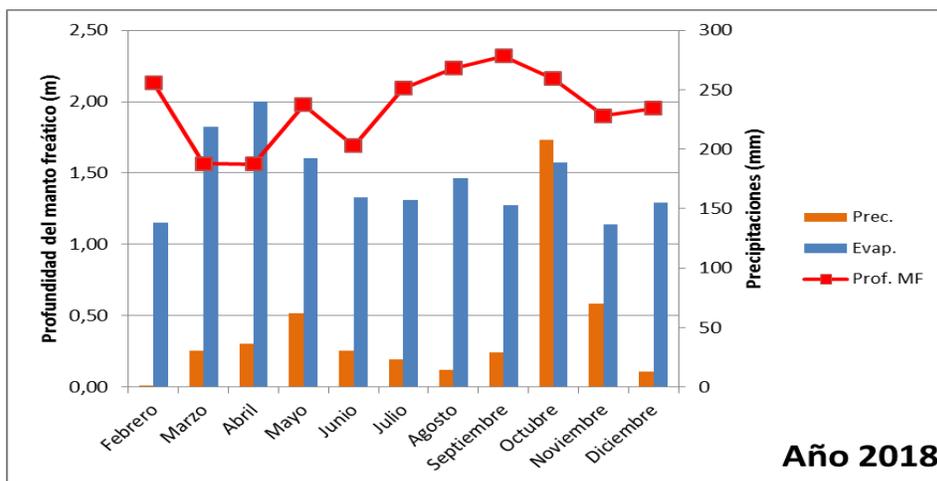


Figura 15. Comportamiento de la profundidad del manto freático en relación con las precipitaciones y la evaporación, año 2018.

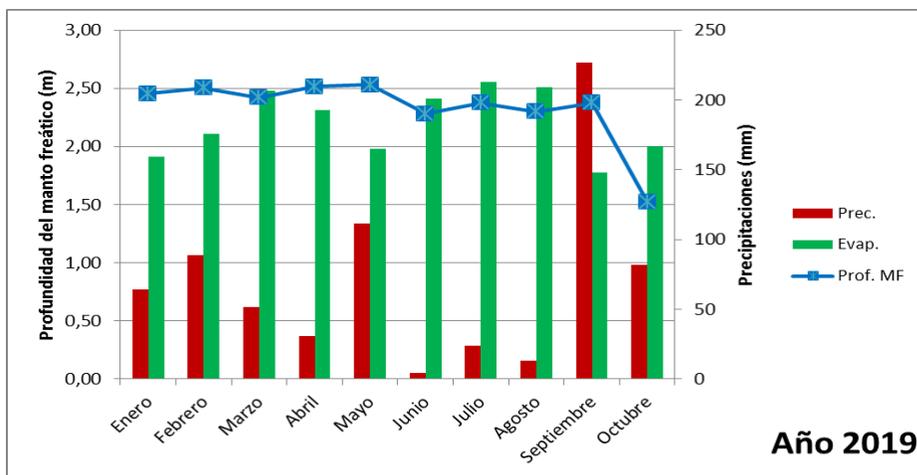


Figura 16. Comportamiento de la profundidad del manto freático en relación con las precipitaciones y la evaporación, año 2019.

Se apreció en general, diferencias entre las profundidades alcanzadas en ambas épocas, siendo tendencia el ascenso del manto freático en el período húmedo (mayo - octubre), influenciado por ocurrencia de las lluvias y siendo más profundo en el período seco (noviembre - abril), lo que se atribuye a la escasez de precipitaciones y a la intensidad de la evaporación que usualmente en esta zona es el doble de las precipitaciones.

Sánchez *et al.* (2000) concluyeron en el informe LADA de esta zona, que las condiciones climáticas desfavorables, precipitaciones bajas y mal distribuidas durante el año y alta evaporación potencial, propician el descenso del manto freático en la época de seca.

Al respecto Coras (2006) plantea que la capa freática está sometida a oscilaciones, debido a los factores de carga y descarga. En la época de lluvia se eleva y en la época seca desciende, como consecuencia de la evapotranspiración.

Este hecho también es corroborado por Coras *et al.* (2014), quienes reportan una relación directa entre las precipitaciones y la evaporación con la profundidad del manto freático, observándose que en períodos de lluvia predomina un ascenso del nivel freático y la influencia de la evaporación en su abatimiento.

En la Tabla 12 se muestran los valores medios de la composición iónica de las aguas freáticas en los años 2018 y 2019.

Tabla 12. Valores medios de la composición iónica de las aguas freáticas.

| Año | ANIONES (mmol.L ⁻¹) | | | | CATIONES (mmol.L ⁻¹) | | | | CE (dS.m ⁻¹) | SSD (mg.L ⁻¹) |
|------|---------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------|----------------|--------------------------|---------------------------|
| | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | | |
| 2018 | 1,12 | 7,35 | 1,07 | 3,49 | 4,49 | 3,80 | 4,75 | 0,49 | 0,93 | 602,41 |
| 2019 | 0,93 | 9,63 | 0,45 | 2,05 | 3,50 | 1,40 | 9,84 | 0,28 | 1,13 | 723,18 |

Al analizar los resultados de CE y SSD, se observó que el agua freática presenta valores que la clasifican como ligeramente salina, atendiendo los criterios de Rhoades (1992).

En ambos años se aprecia una mayor concentración de los iones Na⁺, Ca²⁺ y HCO₃⁻, lo cual coincide con lo planteado por Cabrera (1992), quien destaca el predominio de los cationes Ca²⁺ y Na⁺ en el manto freático de esta zona. Al respecto, Sánchez – González *et al.* (2014) afirman que la composición química de las aguas subterráneas en la región varía en dependencia de la litología y la constitución mineralógica de las rocas y están estrechamente relacionadas con las formaciones geológicas existentes.

Se observó un comportamiento diferenciado en cuanto a los valores de CE según el periodo lluvioso y poco lluvioso, al encontrarse diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %, como se observa en la Figura 17, lo cual pudiera estar influenciado por las condiciones presentes en estos periodos; elementos que fueron mencionados por Sridhar *et al.* (2006) quienes indicaron que la salinidad de las aguas freáticas es el resultado de la temporada, y que los valores más altos registrados podrían ser atribuidos a la baja cantidad de precipitaciones y la mayor tasa de evaporación.

Combatt *et al.* (2015), reportaron resultados similares al analizar los contenidos de iones en las aguas freáticas, encontrando diferencias significativas (P<0,05) entre el período lluvioso y el período seco.

De igual forma se comprueba la estrecha relación que existe entre la mineralización del manto freático y la acumulación de sales en el suelo, al ser estos mismos iones los que predominan en el suelo.

Rodríguez (2006) y Combatt *et al.* (2015) plantean que la característica del agua freática está determinada no solo por la cantidad de aniones y cationes presente, sino también por el tipo de sales que se pueden formar. Por esto el estudio de la composición iónica del agua es de gran importancia en la agricultura, debido a los efectos adversos que provocan las sales sobre el suelo y los cultivos.

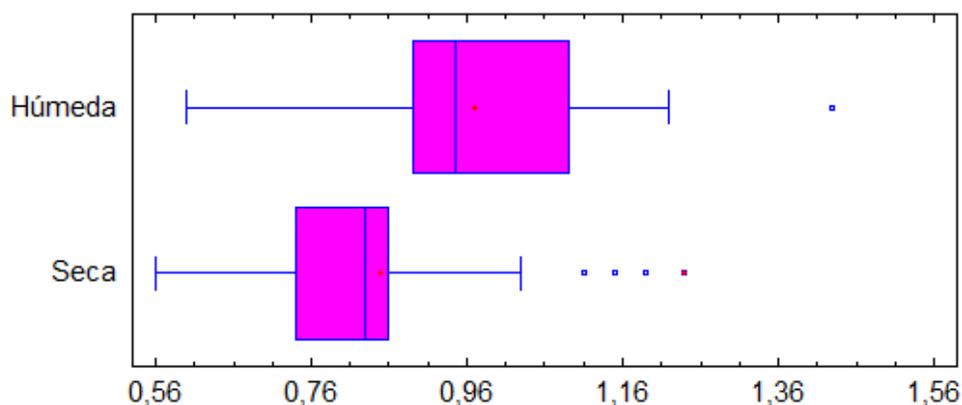


Figura 17. Prueba de comparación de medias para la CE de las aguas freáticas.

Acerca de esto, Coras *et al.* (2014) afirman que si las sales disueltas en el agua subterránea contienen altas concentraciones de sodio el proceso puede ser aún más perjudicial que las no sódicas, cuyos efectos más comunes incluyen la dispersión de las partículas y formación de placas impermeables. Expresan además, que cuando este proceso ocurre de manera repetitiva alternado con períodos secos y húmedos, el suelo finalmente se convierte en un conglomerado sin estructura que se asemeja a un bloque de cemento con baja infiltración, baja conductividad hidráulica y formación de costras superficiales, en estas condiciones la productividad del suelo se ve seriamente reducida.

Estos mismos autores consideran que una vez que se logra el descenso de los niveles freáticos a umbrales adecuados, la operación de drenaje necesita ser optimizada de acuerdo con la dinámica de las variaciones espacio – temporales.

Al relacionar la profundidad del manto freático y la CE de sus aguas, se encontró una correlación lineal, para un $R^2=0,73$, lo que pudiera estar dado por la influencia de las

condiciones climáticas adversas en la fluctuación tanto del manto freático como de la mineralización de sus aguas (Figura 18).

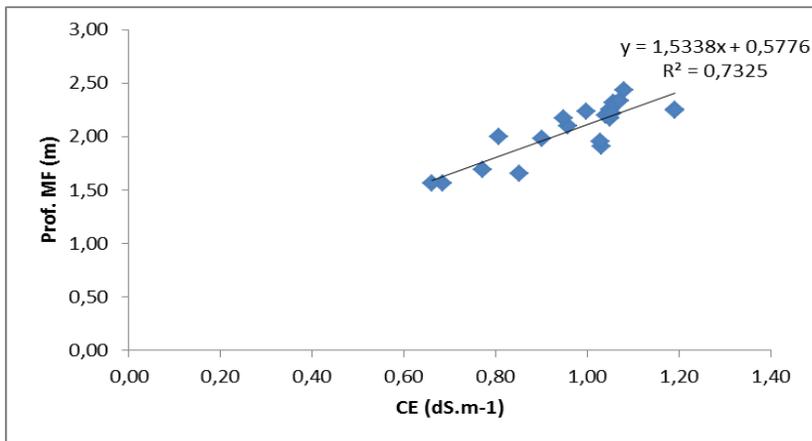


Figura 18. Correlación entre la CE y la profundidad del manto freático, para un nivel de confianza del 95 %.

Otero *et al.* (2009) consideran que al cesar el aporte lluvioso y establecerse las condiciones de sequedad, desciende el manto freático, dejando como efecto parte de su composición enriqueciendo al suelo y a la solución, condiciones que son muy frecuentes en la zona de estudio.

Este efecto pudo comprobarse al correlacionar la CE de las aguas freáticas y la CE del suelo (Figura 19), entre las cuales se encontró una correlación lineal, para $R^2=0,75$.

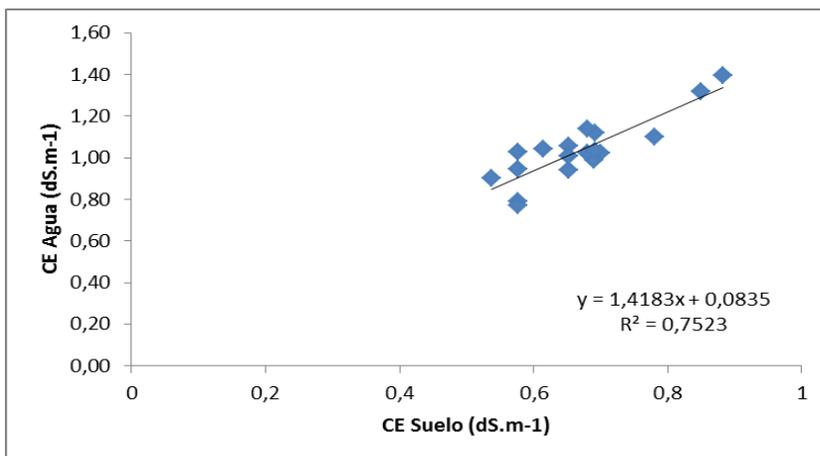


Figura 19. Correlación entre la CE del suelo y la CE del agua, para un nivel de confianza del 95 %.

Al respecto Sánchez *et al.* (2000), confirmaron que en el Valle de Guantánamo el contenido de sales en el suelo está condicionado a la mineralización del manto freático y su cercanía a la superficie. En la temporada seca, cuando la evaporación es máxima, el agua freática es la principal fuente de salinización del perfil del suelo, lo que es corroborado por Coras *et al.* (2014) que afirman que la evaporación favorece el ascenso de sales a la superficie por capilaridad.

La elevación del manto freático mineralizado es la causa fundamental del incremento de la salinidad en esta zona, además de las características del clima (Ortega *et al.*, 1982; Flores *et al.*, 1996).

Los resultados alcanzados con el monitoreo evidencian que el área objeto de estudio presenta determinado nivel de degradación, que es posible mitigar con buenas prácticas de manejo y en consecuencia, alcanzar resultados más favorables.

Las acciones que han tenido lugar en la parcela de referencia confirman su viabilidad destacándose que la salinidad constituye un problema potencial para el desarrollo de los cultivos, al comprobarse su aparición en la profundidad del perfil del suelo. El funcionamiento eficiente de los sistemas de drenaje, así como, el uso de una tecnología para el riego que aporta las cantidades adecuadas de agua permite que no haya una recarga del manto freático y éste se encuentre abatido en profundidad, aspecto en el que también influyen las condiciones climáticas. Asimismo, se comprobó la calidad Superior de las aguas utilizadas para el riego y en contraste, la mineralización presente en las aguas freáticas.

En la actualidad, se utiliza para realizar los estudios de salinidad el manual empleado en los resultados del informe del Mapa Básico 1:25 000, que data de la década del 80 del pasado siglo: "Instrucciones metodológicas para la cartografía a escala detallada de los suelos salinos y salinizados de Cuba". En este material solo se tiene en cuenta el monitoreo de la salinidad en el suelo para confeccionar los cartogramas, sin recoger otros elementos que, como se ha mostrado, inciden en la salinización de un suelo y por consiguiente, afecta el desarrollo de los cultivos.

En resumen, la evaluación de la conductividad eléctrica, el pH, la calidad de las aguas superficiales, la profundidad del manto freático y la calidad de las aguas

subterráneas permiten tener una idea detallada de la situación actual de la salinidad de un agroecosistema y tomar las acciones pertinentes para mitigar y/o corregir los problemas detectados.

4.2.4. Plan de manejo

A partir de los resultados obtenidos se constató la importancia de la sistematicidad en el monitoreo de los suelos y las aguas, permitiendo tomar decisiones oportunas y adecuadas en el manejo de la finca, por lo que se hace necesario realizar un plan de manejo basado en los criterios.

- Mantenimiento de la red de drenaje.
- Manejo adecuado del riego: lámina de agua e intervalos adecuados.
- Aplicación de labranza mínima.
- Mantener el suelo cubierto de forma permanente.
- Evaluaciones periódicas de la calidad de agua para el riego.
- Establecimiento de un plan de rotación de cultivos donde se combinan gramíneas y leguminosas, con variedades tolerantes a la salinidad y la sequía.
- Reforestación en los límites de la finca, en las márgenes de los canales de drenaje y a la entrada de la finca.
- Aplicación de enmiendas orgánicas.
- Actividades de sensibilización en materia de desertificación y sequía, salinización, degradación del suelo, calidad del agua para el riego, manejo eficiente del riego y el drenaje.

Estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Leiva *et al.* (2015) al evaluar el comportamiento de variedades de arroz en suelos afectados por sales, donde especifican que las atenciones culturales al cultivo se realizan según el Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz (2014) y no refieren tecnologías específicas para el tratamiento de los suelos afectados por sales.

Sin embargo, Bolívar (2011) propuso pasos para la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola; con el fin de medir el nivel de desarrollo comparando su desempeño actual con el desempeño deseable, con atención en las áreas o dimensiones siguientes: social, económica, medioambiental e institucional, utilizando los principios básicos del desarrollo sostenible, criterios de diagnóstico, indicadores y medios de verificación, aspectos que permiten comparar resultados a lo largo del tiempo.

Por su parte, Usaquén Perilla (2017) desarrolló modelos con enfoque sistémico (socio-físicos, multiparamétricos), identificando las variables esenciales para su aplicación práctica en los contextos local, regional y mundial. Integró el uso de herramientas numéricas y de modelización con elementos conceptuales, que permitieron la formulación de estrategias y el diseño de forma de gestión.

4.3. Indicaciones técnicas para el monitoreo adecuado de la salinidad en un área de la zona sur del Valle de Guantánamo

A partir de los resultados obtenidos, se proponen como indicaciones técnicas para lograr un monitoreo adecuado de la salinidad:

1. Estructurar de manera lógica e integral la dinámica para el monitoreo de los agroecosistemas afectados por salinidad, en función de la mejora de los suelos agrícolas, con propuestas de mitigación y/o corrección.
2. Definir con claridad el área para el monitoreo del agroecosistema afectado por sales, partiendo del criterio de un equipo multidisciplinario que no solo incluya a los investigadores y especialistas, sino también a los tenentes del área, de forma tal, que permita un conocimiento lo más profundo posible del historial de la misma
3. Diagnóstico integral de área seleccionada basado en los criterios de suelo, clima, cobertura del suelo, biodiversidad, canales de riego y drenaje (Anexo 1).
4. Monitoreo del suelo, calidad de las aguas superficiales, profundidad del manto freático y calidad de las aguas freáticas.

5. Informe técnico por el grupo evaluador para proponer plan de mitigación y/o corrección del área objeto de estudio.

En México, Pulido *et al.* (2009), propusieron una metodología para el diagnóstico, manejo y control de la salinidad y plantean estudios edafológicos, geológicos, freaticométricos y topográficos, pero hasta ese momento no cuentan con indicaciones técnicas que permita identificar, ordenar y jerarquizar las causas de la salinización de los suelos, y establecer las medidas preventivas y correctivas.

En la literatura internacional existe un amplio espectro de indicaciones para la evaluación de sistemas (Bockstaller *et al.*, 2009); sin embargo, una gran parte de ellas se concibieron para las condiciones específicas en que se hizo el estudio y concebidos para los cultivos en específico, donde se trata al suelo como un elemento más dentro de los mismos, sin especificidades al respecto.

Dichas herramientas son de naturaleza variable (cualitativas, cuantitativas), con niveles de riqueza, complejidad/profundidad y flexibilidad fluctuantes y con aplicaciones de carácter más o menos científico o de soporte a políticas decisionales (Gasparatos *et al.*, 2008; Gasparatos y Scolobib, 2012).

Recientemente, en Colombia se presentó un *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de los suelos por salinización*, como instrumento para consolidar el programa de monitoreo y seguimiento en el marco de la gestión sostenible y de esta forma ofrecer los lineamientos técnicos y de planificación para la identificación, la zonificación, el análisis y la evaluación del proceso de degradación de los suelos por salinización (IDEAM, CAR y U.D.C.A., 2017).

En Cuba, la NC 776:2010 para la evaluación de la salinidad en los suelos, utiliza indicadores globales comunes a todos los suelos a nivel nacional e indicadores específicos de alcance territorial (Otero *et al.*, 2009), además de contribuir a la toma de decisiones respecto al empleo de alternativas de manejo o mejoramiento específicos y sostenibles.

Con el desarrollo de esta investigación es posible el monitoreo de agroecosistemas afectados por salinidad, demostrando la necesidad y pertinencia de proponer indicaciones técnicas que dote a especialistas e investigadores de una herramienta

concreta para su realización. Con la implementación de estas indicaciones es posible coleccionar, de forma organizada, toda la información disponible acerca del área objeto de estudio. Esto permite valorar integralmente la afectación por sales y en consecuencia, tomar acciones que agrupen la variedad de factores que pudieran incidir.

V. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos evidenciaron que un monitoreo adecuado permite caracterizar detalladamente la afectación por la salinidad en el suelo y definir la diferencia existente entre la conductividad eléctrica (CE) en el agua freática entre los periodos de lluvia y seca.
2. Se definieron los aspectos a tener en cuenta para realizar un monitoreo adecuado para un agroecosistemas afectados por salinidad.
3. Se propusieron las indicaciones técnicas para el monitoreo adecuado de la salinidad en un área de la zona sur del Valle de Guantánamo.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar las indicaciones técnicas propuestas para el monitoreo de áreas con afectaciones por salinidad en la provincia.
- Utilizar la memoria escrita como material bibliográfico para los estudiantes de pregrado de la carrera de Agronomía.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, Y.; Urquiza, M. N.; Ricardo, M. P.; Calero, B.; Limeres, T.; Caraballo, Y.; Salazar, J.; Cristina, M.; Ginebra, M.; Martínez, J. J.; Castro, L.; Montano C. R.; Alemán, C.; García, D.; Flores, L. y Malagón, G. (2015): Manejo Sostenible de Tierras. Experiencias y desafíos. INFORME FINAL PROYECTO 1 "Fortalecimiento de Capacidades para el Planeamiento, Toma de Decisiones y Sistemas Regulatorios; Sensibilización // Manejo Sostenible de Tierras en Ecosistemas Severamente Degradados". PIMS 3806. PROGRAMA DE ASOCIACIÓN DE PAÍS PARA EL MST. Apoyo a la Implementación del Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en Cuba. ISBN: 978-959-300-110-6. 256 pp.
- Aguirre Hernández, A. (2009): El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego. Caso de estudio presentado como requisito parcial para obtener el grado de Especialización en Química Aplicada. Centro de Investigación de Química Aplicada. Saltillo. Coahuila. 48 pp.
- Anaya Flores, R. (2015): Modelado de la salinidad del suelo en Los Negritos Villamar, Michoacán. Tesis para optar por el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable. 73 pp.
- Arshad, M. A. y Martin, S. (2002): Identifying critical limits for soil quality indicators in agro- ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88(2): 153-160.
- Arumí, J. L.; Rivera, D.; Muñoz, E. y Billib, M. (2012): Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile. *Obras y proyectos, versión On-line* ISSN 0718-2813, Obras y Proyectos no.12 Concepción 2012. En <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000200001>.
- "Biodiversidad". En: *Significados.com*. Disponible en: <https://www.significados.com/biodiversidad/> Consultado: 20 de marzo de 2020.
- Bolívar, H. (2011): Metodologías e indicadores de evaluación de sistemas agrícolas hacia el desarrollo sostenible. Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales. Depósito Legal: PPX200102ZU2313/ISSN: 1856-6189. Volumen 8 Edición No. 1.

- Bockstaller, C.; Gaillard, G.; Baumgartner, D.; Freier-muth Knuchel, R.; Reinsch, M. y Brauner, R. (2006): Méthodes d'évaluation agri-environnementale des exploitations agricoles: Comparaison des méthodes INDIGO, KUL/USL, REPRO et SALCA. ITADA. Colmar, France.
- Bockstaller, C.; Guichard, L.; Makowski, D.; Aveline, Anne; Girardin, P. y Plantureux, S. (2008): Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28 (1):139-149.
- Bockstaller, C.; Guichard, L.; Keichinger, O.; Girardin, P.; Galan, Marie B. y Gaillard, G. (2009): Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29 (1):223-235.
- Borges, O., Baisre, J., C. Piedra, Limeres, T., San Loys, D., M. Cintra (1998): "Caracterización de la Zona Semiárida de Guantánamo y Propuesta de Ordenamiento Agroecológico de la Región", Informe Final Proyecto 013 – 05 – 001 del PNCT "Los Cambios Globales y el Medio Ambiente Cubano", en Archivo Instituto de Suelos Guantánamo. Cuba. 247 pp.
- Borges, O; Borroto, Matilde; Gell, P.; Mengana, R.; Piedra, Caridad; Acosta, R.; Lobaina, P.; y Sánchez, Inalvis (1996): Tecnología para la preparación de suelos salinos. Resultado 004-10-25. En archivos Instituto de Suelos. 18 ID 180.
- Brejda, J.J., Moorman, T. B., Karlen, D. L. and Dao, T. H. (2000): Identification of Regional Soil Quality Factors and Indicators. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2115 – 2124.
- Cabrera, R. (1992): Fundamentos de las medidas para el mejoramiento y la recuperación de los suelos salinos del área cañera del Valle de Guantánamo. Tesis Dr. en Ciencias Agrícolas, MINAZ, INICA-EPICA, Cuba, 117 pp.
- Cabrera, R. y Montero, M. (1994): Estudio de caso para el desarrollo de la región semiárida de la provincia de Guantánamo (Valle de Guantánamo y Franja Costera Sur), 28 pp.
- Castellón – Gómez, J. J.; Bernal Muñoz, R. y Hernández Rodríguez, M. L. (2015): Calidad del agua para riego en la agricultura protegida de Tlaxcala. *Rev. Ingeniería*, vol. 19, núm. 1, 2015, p 39 – 50. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

- Castro, F. (1985): Discurso pronunciado en el 32 Aniversario del asalto al Cuartel Moncada en Guantánamo, Cuba, Poligráfico, 29 pp.
- Cerri, C.C., Cerri, C. E. P. y Bernoux, M. (2006): South America Priorities in Soil Science research. En: Abstracts 18 World Congress of Soil Science, p 20 - 21.
- Cinelli, M.; Coles, S. R. y Kirwan, K. (2014): Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecol. Indic.* 46:138-148.
- Cintra, M. y Cotorruelo, J. (2020): Desarrollo de la ciencia y la tecnología para mitigar la salinidad en Guantánamo, Cuba. *Revista "Hombre, Ciencia y Tecnología"*. En Vol. 24 No. 1 del 2020.
- Cintra, M.; Sánchez, R.; González, R.; Rivero, L.; Pérez, J. M.; Morales, R.; Peña. O.; Vento, M.; Montejo, J. L.; Márquez, E. y Pozo, C. (2016): Informe final del PNAP "Control sistemático de los suelos y las aguas en agro ecosistemas afectados por salinidad bajo condiciones de manejo diferenciado para enfrentar los efectos del cambio climático". En archivo, Instituto de Suelos, La Habana. 76 pp.
- Combatt C., E.; Narváez M., H. y Bustamante de la B., I. D. (2015): Estimación de la salinidad en aguas freáticas de área de influencia de la desembocadura del río Sinú – Córdoba, Colombia. *Idesia* vol. 33, no. 3, Arica Agosto 2015.
- Coras – Merino, P. M. (2006): Elementos climáticos y su relación con la fluctuación del nivel freático. *Terra Latinoamericana* 2006, 24(3).
- Coras Merino, P.M.; Ontiveros Capurata, R. y L. Diakite Diakite (2014): Movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 5, Núm. 4, 30 de junio – 13 de agosto, 2014, p 537-548.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2015): Instructivo: Monitoreo de salinidad de suelos. Consultoría ICESI y Grupo de Producción sostenible. 2 pp.
- Corwin, D.; Brown, G. E.; Lesch, S. M.; Oster, J. y Kaffka, S. (2006): Evaluating Management Induced Changes from Drainage Water Using ECa Directed Sampling: Salinity, Sodicity and Trace Elements Abstracts 18 World Congress of Soil Science, p 593 - 594.

- Courel, G. F. (2019): Guía de estudio suelos salinos y sódicos. Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad de Tucumán. 9 pp.
- Diviatij, V. y Ávila, L. (1978): Algunos principios del mejoramiento de tierras salinizadas. En conferencias impartidas en la Reunión Nacional de Suelos Salinos, Academia, La Habana, p 43-58.
- DMPF (2015): Informe del sitio demostrativo CCSF Enrique Campos Caballero al proyecto OP15. En archivo Instituto de Suelos – UCTB Guantánamo. 7 pp.
- FAO (2007): Agricultura 21: Utilizar el agua con inteligencia. Revista Enfoques. En www.fao.org/ag/esp/revista/0004sp1.htm
- FAO (2008): Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO (2010): Climate Change and Regions. A regional-government approach to address the challenges of climate change.
- FAO (2020): Portal de Suelos de la FAO. En www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/more-information-on-salt-affected-soils. Consultado 12 de enero de 2020.
- Fernández, M. A. y Pérez, R. (2009): GEO CUBA 2007 Evaluación del medio ambiente cubano. Centenario. Santo Domingo. 293 pp.
- Fernández, I.; Blanco, A.; Cintra, M.; Limeres, T.; González, R.; Milá, F.; Fuentes, J. y Leyva, A. (2015): Informe final del proyecto “Manejo sostenible de tierra en ecosistemas frágiles de la zona semiárida de Guantánamo y polígonos de suelos”. Inédito. En archivo Instituto de Suelos, UCTB Guantánamo. 136 pp.
- Feuchter, F. (2016): Recuperación de suelos salinos agrícolas, mediante el establecimiento de praderas bajo riego y cultivos alternativos. Diez acciones propuestas de bioingeniería sostenible. En <http://www//Zoe> Tecno-campo: Recuperación de suelos salinos. Consultado 18 de enero de 2016.
- Figueira, J.; Greco, S. y Ehergott, M. (2005): Multicriteria decision analysis: State of the Art Surveys. New York: Springer.
- Filosofia.org (2020): Metodología en el Diccionario Soviético de Filosofía. En www.filosofia.org/enc/ros/metod. Consultado 12 de agosto de 2020.

- Flores, D. A.; Gálvez, V. V.; Hernández, L. O.; López, A. J. G.; Obregón, S. A.; Orellana, G. R.; Otero, G. L. y Valdés, P. M. (1996): Salinidad un nuevo concepto. Editorial Colima, México; 137 pp.
- García Reyes, E. B.; Garea Llanos, E.; Gil Rodríguez, J. L.; Martín Morales, G.; Rivero Ramos, L. B. y Ponvert – Delisles Batista, D. R. (2014): Enfoque metodológico para el monitoreo de la salinidad del suelo empleando imágenes de satélite. En <https://www.researchgate.net/publication/228828874>. Consultado 12 de julio de 2020.
- Gasparatos, A.; El-Haram, M. y Horner, M. (2008): A critical review of reductionist approaches for assessing the progress towards sustainability. *Environ. Impact Assess.* 28 (4-5):286-311.
- Gasparatos, A. y Scolobig, A. (2012): Choosing the most appropriate sustainability assessment tool. *Ecol. Econ.* 80:1-7.
- GEOCUBA (2010): Diagnóstico ambiental Cuenca hidrográfica Guantánamo – Guaso. División de Estudios Medioambientales, Geocuba Oriente Sur, Agencia Guantánamo. 110 pp.
- González, E. y Sotolongo, R. (2007): Ecología Forestal. Edit. Félix Varela. La Habana. 229 pp.
- Golden Software, Inc. (2011): Surfer versión 10.1.561. Surface Mapping System.
- Harter, B. y Motis, T. (2016): Conociendo los suelos afectados por sales. Notas Técnicas de ECHO (TN) / TN # 84.
- Hernández, J. A.; Pérez J., J. M.; Bosch, I. D.; Rivero, R. L.; Camacho, D. E. y otros (1999): Nueva Versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba. Editorial Agrinfor. Ciudad de la Habana, 64 pp.
- Hernández Avera, Y.; Soto Pérez, N.; Florido Bacallao, M.; Delgado Abad, C.; Ortiz Pérez, R. y Enriquez Obregón, G. (2015): Evaluación de la tolerancia a la salinidad bajo condiciones controladas de nueve cultivares cubanos de soya (*Glycine max* (L.) Merrill). En línea. *Cultivos Tropicales*. 2015, vol. 36, no. 4, pp. 120 – 125. Consultado: 25 de septiembre de 2020.

- Herrera, J.; Pujol, R.; Alarcón, R. y Espinosa, E. (2009): Calidad de las aguas de drenaje procedentes de campos arroceros sobre suelos salinos en la Cuenca del Cauto. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 18, No. 3, 2009, 6 pp.
- IDEAM, CAR y U.D.C.A. (2017): Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización. IDEAM.
- Instituto de Meteorología Provincia Guantánamo (2020): Estudio climático en áreas productivas de Matabajo, municipio Guantánamo, para la serie climática 1989 – 2019 (31 años). En archivo de IAGRI, Guantánamo.
- INRH (1992): Esquema detallado de desalinización de las tierras del Valle de Guantánamo. INRH. Colectivo de Autores soviético-cubanos.
- Instituto de Suelos. (1975): 2ª Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Serie Suelos, 23: 1 - 25.
- Instituto de Suelos (1985): Manual de técnica de análisis químicos de suelos, plantas y agua. Instituto de Suelos. Acad. Cien. Cuba. La Habana, 64 pp.
- Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) (2019): AGROSAL. En <http://agrosal.ivia.es/conceptos>, 20/11/2019.
- Kovda, A. V. (1964): The origine of saline and their regime. USSR Academy of Sciences Publishing House.
- Lamz, A. y González, M. (2013): La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Revista Cultivos Tropicales* vol. 34, no. 4, La Habana, oct. – dic. 2013.
- Lau Quan, A., Garea Llano, E. y Ruiz, M. E. (2005): Estimación de la salinidad de los suelos utilizando una imagen espectrozonal y el sistema de información geográfica Telemap. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 14, núm. 1, p 47-54. Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, La Habana, Cuba.
- Leiva, L.; Saborit, R. y Reyes, A. (2015): Comportamiento de variedades de arroz en suelos afectados por sales. *Revista Infociencia*, 2015.
- Macchiavello, A. y Sueiro, N. (2012): Comportamiento de napas y calidad de agua en los Partidos de General Villegas y Lincoln. Memoria técnica 2011-2012. 5 pp.

- Martínez-Casasnovas, J. A. y Martín-Moreno, A. (2004): Variabilidad espacial del arroz como cultivo indicador de salinidad en regadíos del valle del Ebro a partir de series temporales de imágenes Landsat TM. *Revista de Teledetección*, 21: 11-14.
- Mendoza, A.; Vega, G.; Soto, R. y Escandón, M. C. (2020): Recomendaciones técnicas para el cultivo de *Mentha arvensis* L. var piperaceus Malinnaud.. (Menta japonesa) en Cuba. En www.fao.org. Consultado 4 de julio de 2020.
- Ministerio de la Agricultura (1984): Dirección General de Suelos y Fertilizantes: Manual de interpretación de los índices Físico – Químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico – Técnica. Ciudad de la Habana, 136 pp.
- Ministerio de la Agricultura (1989). Informe del mapa 1: 25 000. Guantánamo.
- Ministerio de la Agricultura (2019): Programa del Anillo Verde de la ciudad de Guantánamo. 12 pp. En archivo Delegación Provincial de la Agricultura Guantánamo.
- Morales, O.; Ortiz, A.; Mojena, R.; Pérez, D.; Leyva, Y. y Hernández, R. (2006): Parámetros técnicos de explotación de la variedad IA Cuba 25 para condiciones de suelos salinizados. p 38 – 47. En www.actaf.co.cu. Consultado 12 de junio de 2020.
- Munns, R. y Tester, M. (2008): Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, p 651-681.
- Navarro, N.; Valdés, M.; Gainza, M.; Dorta, I.; Urbano, G.; Shuralieva, I.; Bahamonde, A.; Núñez, A.; y Ruíz, F. (1990): Conocer los indicadores químicos y físico-químicos que posibiliten la recuperación y manejo de los suelos salinos. Resultado 004-001-04. Archivo Inst. Suelos.
- NC 32:1999. Calidad del suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación.
- NC 209:2002. Calidad del suelo. Determinación de los aniones y cationes solubles en el extracto y el porcentaje de saturación de la pasta de suelos afectados por la salinidad.
- NC ISO 103 90:1999. Calidad del suelo. Determinación de pH.
- NC ISO 11074-2:2004. Calidad del Suelo. Vocabulario. Parte 2: Términos y definiciones relativos al muestreo.

- NC 65:2000. Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo.
- NC 112:2001. Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica y de las sales solubles totales en suelos afectados por la salinidad. Relación 1:5 suelo – agua.
- NC 776:2010. Calidad del suelo — Evaluación de la afectación por salinidad.
- NC 1048:2014. Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones.
- NRAG 186:2011. Suelos. Disoluciones nutritivas. Métodos químicos de análisis.
- ONEI (2013): Anuario Estadístico de Cuba. Medio Ambiente.
- ONEI (2017): Anuario Estadístico de Cuba. Medio Ambiente.
- ONEI (2019): Anuario Estadístico de Cuba. Provincia Guantánamo. Medio Ambiente.
- Obregón, A.; Castro, N.; Rivero, L. y Hernández, J. M. (1988): Instrucciones metodológicas para la cartografía a escala detallada de los suelos salinos y salinizados de Cuba. Instituto de Suelos, La Habana, 26 pp.
- Orellana, R., Febles, J. M., Ortega, F., Jaimez, E., Riverol, M., Otero, L., Martínez, F., Muñiz, O., Calero, B., Aguilar, Y., Rodríguez, D., Vantour, A., Orlay, R., Garea, E. y Martín, G. (2009): Estado del Medio Ambiente. En GEO Cuba Evaluación del medio ambiente cubano. Centenario. Santo Domingo. 293 pp.
- Ortega S., F.; M. Martínez y Herrera, L. M. (1982): Causas de la variación del manto freático y su relación con la salinidad de los suelos del Valle de Guantánamo. Cien. Agr., 12:63-73.
- Ortega S., F.; Herrera, L. M. y Forbes, T. (1986): Dinámica de la humedad en los suelos salinos del sureste del Valle de Guantánamo (Cuba). Cien. Agr., 29:113-121.
- Ortega S., F y Forbes, T. (1994): La salinidad en el suroeste del Valle de Guantánamo. Rev. Ciencias de la Tierra y del Espacio, 23 - 24 pp.
- Otero, L.; Cintra, M. y Curbelo, R. (2002): Parámetros de los indicadores más importantes que definen el mejoramiento de la productividad de los suelos salinos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. 05:170.
- Otero, L.; Francisco, A.; Curbelo, R.; Navarro, N.; Gálvez, V.; Vento, M.; Morales, R.; Rivero, L.; Sánchez, I.; Cintra, M.; Labaut, M.; Montejo, J. L. y Vantour, A. (2008):

Nuevos Indicadores de evaluación de la salinidad de los suelos cubanos. Memorias del Primer Taller de Fertilidad de Suelos Ganaderos.

Otero, L.; Sánchez, I.; Vento, M.; Cintra, M.; Rivero, L.; Gálvez, V.; Morales, R. y Navarro, N. (2009): Norma cubana para la evaluación de la salinidad de los suelos”. Memorias de la Convención Internacional Ingeniería Agrícola 2009. ISBN: 978-959-282-088-3.

Otero^a, L.; Cintra, M. y Sánchez, O. (2010): Procedimiento para la obtención de la dosis efectiva de mejoradores químicos en suelos salinos. Documento de solicitud de Patente de innovación. OCPI Resolución 0952-2010.

Otero^b, L.; Francisco, A.; Gálvez, V.; Morales, R.; Sánchez, I.; Labaut, M.; Vento, M.; Cintra, M. y Rivero, L. (2010): Caracterización y evaluación de la salinidad. En <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5420/salinidad.pdf>

Pernús, M. y Sánchez R., J. A. (2015): Salinidad en Cuba y tratamientos pregerminativos de hidratación n- deshidratación de semillas. Pastos y Forrajes 38(4): 379 – 392. Diciembre 2015.

Pulido-Madrigal, L.; González-Meraz, J. y Villarreal-Pulido. M. (2009): Metodología para el diagnóstico, manejo y control de la salinidad, aplicada en el Distrito de Riego 038 Río Mayo, Sonora, México. Ingeniería hidráulica en México, vol. XXIV, núm. 1, pp. 55-72, enero-marzo de 2009.

Programa de Asociación de País (CPP) para el MST (2015): Manejo Sostenible de Tierras – Experiencias y desafíos. Informe Final al Proyecto 1 “Fortalecimiento de capacidades para el planeamiento, toma de decisiones y sistemas regulatorios; Sensibilización//Manejo Sostenible de Tierras en ecosistemas severamente degradados”. La Habana. 299 pp.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2007): Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, medio ambiente para el desarrollo GEO 4. Phoenix Design Aid Marsvej Randers. Dinamarca. 574 pp.

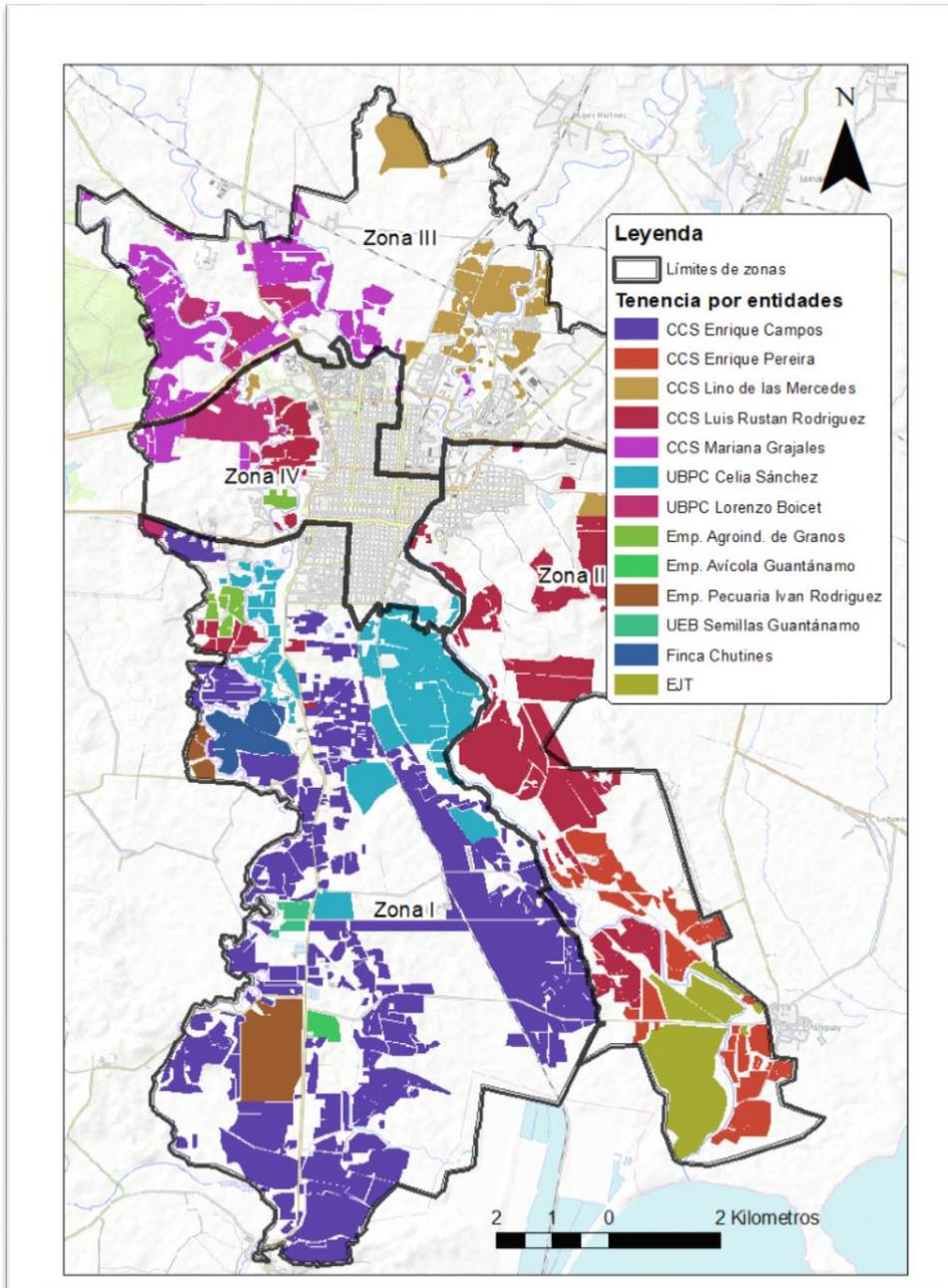
Rhoades, J. D. (1990): Overview: *Diagnosis of Salinity Problems and Selection of Control Practices*. Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71, p 18-41.

- Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, A. M. (1992): The use of saline waters for crop production. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 48, ISSN 0254-5284, ISBN 92-5-103237-8, 133 pp.
- Ricardo, M. P.; Limeres, T.; Lorié, A.; Cún, R. y Aguilar, Y. (2018): La productividad del agua indicador para el monitoreo y evaluación del Manejo sostenible de Tierras. Revista Ingeniería Agrícola. Vol. 8, núm. 4. En www.revistas.unah.edu.cu.
- Richards, L. A. (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali Soils, U. S. Salinity Laboratory Staff, USDA Handbook, 60, 160.
- Rivero, L. y Sánchez, I. (1996): Clasificación del régimen hídrico de los suelos de Cuba. En resúmenes IV Jornada Científica del Instituto de Suelos y II Taller Nacional sobre desertificación. 180 pp.
- Royo, A. y Abió, D. (2003): Salt tolerance in durum wheat cultivars. Spanish Journal of Agricultural Research, 1(3): 27- 35.
- Ruiz C. E., Aldaco N. R., Montemayor-Trejo J., Fortis, H.M., Olague, R.J. y Villagómez G. J. (2007): *Técnica pecuaria en México*, Vol. 45(1): 19-24.
- Sainz Rozas, H.; Echeverría, E. H. y Angelini, H. (2011): Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. IPNI. Informaciones agronómicas – No. 2. 7 pp.
- Sánchez, I.; Ceballos, D; Cintra, M. y Limeres, T. (2000): Informe proyecto LADA. En Archivo Instituto de Suelos, 8 pp.
- Sánchez-González, D.; Sánchez-Sánchez, Y. y Fernández-Rodríguez, M. (2014): Análisis hidroquímico con fines de riego de aguas subterráneas de la provincia de Granma. *Minería y Geología* / v.30 n.4 / octubre-diciembre / 2014 / p. 38-54 ISSN 1993 8012.
- SECS (2017): Libro blanco sobre el tratamiento del suelo en los libros de texto de Enseñanza Secundaria Obligatoria y de Bachillerato en España. Lleida. Diputació de Lleida. Memoria, 76 p. + anejos. 2da Edición.
- Singh, R. K.; Murty, H. R.; Gupta, S. K. y Dikshit, A. K. (2012): An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecol. Indic.* 15 (1):281-299.
- Sophocleous, M. (2002): Interaction between groundwater and surface water: The state of the Science. *Hydrogeology Journal* 10, 52-67.

- Sridhar, R.; Thangaradjou, T.; Senthil, K. y Kannan, L. (2006): Water quality and phytoplankton characteristics in the Palk Bay, Southeast Coast of India. *J. environ Biol.*, 27: 561 – 566.
- Suarez, D. y J. J. Jurinak (1990): The chemistry of salt-affected soils and waters. pp. 57-88. In: W. W. Wallender and K. K. Tanji (eds.). *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE Manuals and reports on engineering Practice No. 71. Reston, VA, USA.
- Szabolcs, I. (1989): *Salt affected soils*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA. 101 pp.
- Tartabull Puñales, T. y Betancourt Aguilar, C. (2016): La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas [seriada en línea]*, 4 (1). p 47-61. En <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/ras>
- UNESCO (1977): A new map of the world distribution of arid regions *Nature and Res.*, 13(3):2-3.
- United States Salinity Laboratory Staff (USSL) (1954): *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agricultural Handbook No. 60. USDA. Washington, D. C.
- Usaquén Perilla, O. L. (2017): *Desarrollo de una metodología para la gestión ambiental de humedales costeros y continentales sometidos a presiones agrícolas*. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. Universidad De Cantabria. Documento en PDF.
- Van der Werf, H. G. M. y Petit, J. (2002): Evaluation of environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agr. Ecosyst. Environ.* 93 (1-3):131-145.
- Van Mil, H. G. J.; Foegeding, E. A.; Windhab, E. J.; Perrot, N. y van der Linden, E. (2014): A complex system approach to address world challenges in food and agriculture. *Trends Food Sci. Techn.* 40 (1):20-32.
- Verstegen, J. A. A. M.; Huirne, R. B. M.; Dijkhuizen, A. A. y Kleijnen, J. P. C. (1995): Economic value of management information systems in agriculture: a review of evaluation approaches. *Comput. Electron. Agr.* 13 (4):273-288.

- Villafañe, R. y Guarisma, R. (1998): Propuesta para calificar y manejar el agua de riego según su salinidad. *Agronomía Tropical*, 48(3): 251 – 273.
- Wicke, B.; Smeets, E.; Dornburg, V.; Vashev, B.; Gaiser, T.; Turkenburga, W. y Faaija A. (2011): The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Energy Environ. Sci.* 4:2669-2681.
- Wikipedia (2020): Texto instructivo. En [Wikipedia.org](https://www.wikipedia.org). Consultado 12 de junio de 2020.
- Zhow, J. (2006): Soil Research Priorities in Asia. En: Abstracts 18 World Congress of Soil Science, p 20.
- Zúñiga Escobar, O.; Osorio Saravia, J. C.; Cuero Guependo, R. y Peña Ospina, J. A. (2011): Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos Degradados por Salinidad. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 64(1): 5769-5779.

Anexo 1. Programa del Anillo Verde de la ciudad de Guantánamo.



Anexo 2. Descripción de las etapas del diagnóstico

Geología y geomorfología:

Para una mejor comprensión del origen de la salinidad en el área objeto de estudio debe describirse la geología y geomorfología del área seleccionada, partiendo de la información básica contenida en el mapa básico 1:25 000 y enriqueciéndolo con datos obtenidos en otros estudios relacionados con el tema acerca del área en cuestión.

Relieve:

Acorde a SECS (2017), los procesos edáficos repercuten en el relieve y viceversa. Desde el punto de vista edáfico los elementos del relieve más importantes son la inclinación y longitud de las laderas, la posición fisiográfica y la orientación. El relieve ejerce tres acciones fundamentales para la evolución del suelo: *Influencia sobre el transporte, Acción sobre el movimiento de las aguas y Efectos sobre el microclima.*

Se describirá el relieve del área seleccionada, así como, el relieve circundante a la misma, pues esto puede influenciar las condiciones naturales y el desarrollo que presenta el área de estudio.

Suelos:

Se realizará un levantamiento de las propiedades físicas y químicas siguientes:

Físicas: tales como textura, estructura y profundidad efectiva del suelo. Pueden emplearse otras como densidad aparente y velocidad de infiltración, dependiendo de las características del área de estudio.

Químicas: Situación de los nutrientes en el suelo.

El estado del suelo depende del grado de afectación que tengan estas propiedades, lo que conlleva a su degradación.

Deben relacionarse los tipos de suelo predominantes en el área, así como, una descripción general de las características del perfil contenido en el mapa básico 1:25 000, partiendo de sus elementos distintivos y los factores limitantes. Se aportarán los datos conocidos, relacionados con la afectación por sales que permitan valorar las

condiciones del suelo, así como, otros aspectos que denoten algún tipo de degradación en el área.

Cobertura del suelo:

Debe describirse la cobertura del suelo en el área de estudio antes de su uso actual, tratando en lo posible de llegar a los orígenes de la misma, así como, la vegetación presente en la actualidad, acotando las especies vegetales más abundantes. Identificar aquellas que pueden ser indicadoras de salinidad.

Evaluación de las variables climáticas:

Es de vital importancia la información meteorológica del área de estudio tomada de la estación más cercana o pluviómetro, en el caso de las precipitaciones, para realizar una valoración correcta de las variables meteorológicas.

Son fundamentales las precipitaciones, evaporación, evapotranspiración y temperatura, aunque pueden colectarse otras que completen el análisis. El período de información de las variables debe oscilar entre los 5 y 10 años anteriores al monitoreo, recopiladas mensualmente, y actualizarse mientras continúe el estudio del área.

Sistemas de riego y drenaje:

Se describirán los sistemas de riego y drenaje presentes en el área de estudio, así como los que rodean al área y que inciden en la misma, aportando la mayor cantidad de elementos. De ser posible se documentarán con imágenes que permitan apoyar la descripción.

Calidad del agua superficial:

Se tomarán como referencia los últimos estudios realizados a las aguas superficiales circundantes al área, refiriendo toda la información de interés para el monitoreo como la fecha del muestreo y calidad del agua.

Calidad del agua subterránea:

Se tomará como referencia la última información recolectada sobre las aguas subterráneas en el área, teniendo en cuenta los pozos para riego y la profundidad del

manto freático, donde existan pozos de observación. En ambos casos debe tenerse en cuenta la calidad y fecha del muestreo.

Biodiversidad:

Se describirá la biodiversidad de flora y fauna presente en el área de estudio, así como, los factores naturales y antrópicos que interactúan con ella.

- Procedimental

Monitoreo de la salinidad de los suelos:

Para muestrear un suelo, debe tenerse en cuenta la época y profundidad de muestreo.

Se realizará cada 2 años el monitoreo del área de estudio a una escala de trabajo 1:10 000 o inferior, según la NC 776:2010 Calidad del suelo — evaluación de la afectación por salinidad, y se tomará una densidad de puntos de acuerdo a la escala de trabajo seleccionada; los que serán georreferenciados para luego introducirlos en un sistema de información geográfico.

A las muestras se le realizan análisis de pH en agua (NC-ISO 10390:1999 Calidad del suelo. Determinación de pH), conductividad eléctrica en extracto de saturación (NC 32:2009 Calidad del suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación) e iones solubles (NC 209:2002 Calidad del suelo. Determinación de los aniones y cationes solubles en extractos suelo- agua y el porcentaje de saturación).

De no ser posible aplicar la NC 32:2009 para determinar la conductividad eléctrica, se utilizará la NC 112:2009 Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica y de las sales solubles disueltas en la relación 1:5 suelo – agua, y se procederá a transformación de los valores obtenidos de CE en extracto de saturación, utilizando un factor de conversión en dependencia de la textura del suelo: ligeros (7,79) y pesados (3,84), según Navarro *et al.* (1990), Rivero *et al.* (2000) citado por Otero^a *et al.* (2010). Puede tomarse como patrón, la actividad arcillosa o la composición cualitativa arcillosa del suelo en caolinítico o montmorillonítico (Otero^b *et al.*, 2010).

Elaborar los cartogramas digitales de salinidad, a partir de los valores de conductividad eléctrica en el extracto de saturación, a las profundidades de 0 – 40 cm y 40 – 100 cm (se toma el mayor valor de conductividad eléctrica entre las muestras de 0 – 20 cm y 20 – 40 cm, y el mayor valor entre las muestras 40 – 60 cm, 60 – 80 cm y 80 – 100 cm), utilizando para ello el software Mapinfo u otro software que permita la graficar los resultados.

Monitoreo de la calidad de las aguas superficiales:

Se deben tener en cuenta las características del área de estudio para determinar los puntos a escoger para el monitoreo de las aguas superficiales. Tomar muestras de la fuente de agua para el riego, y del agua que llega al campo mediante el sistema de riego empleado. Se recomienda realizar 2 muestreos en el año, uno en época seca y otro en época húmeda, tratando en lo posible de hacerlo coincidir con el monitoreo de los suelos. A estas muestras se les aplica la NC 1084:2010 Calidad del agua para preservar el suelo — Especificaciones, para la determinación de todos los análisis descritos y su correspondiente evaluación en Calidad I, II o III.

Monitoreo de la profundidad del manto freático y la calidad de las aguas subterráneas:

Se aplica lo mismo que para las aguas superficiales, cuando estas son utilizadas para el riego. No obstante, en las áreas que lo requieran, con problemas de drenaje conocidos, y que sea factible, deben instalarse pozos de observación del manto freático, siempre a mayor profundidad de la que comúnmente se encuentran las aguas, para permitir una medición efectiva. En este caso, se tomarán tantas muestras de agua como sea posible en el año, garantizando al menos una muestra por mes; se medirá la profundidad del manto y se valorará la mineralización de las aguas según los criterios de Rhoades *et al.* (1992).