



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ESTUDIO DEL ESTADO DE LAS CUENCAS
HIDROGRÁFICAS MAS IMPORTANTES QUE
ABASTECEN LAS PLANTACIONES
CITRÍCOLAS DE JAGÜEY
GRANDEAGROPECUARIAS**

JOSÉ RAMÓN MARTÍNEZ LUZARDO

**Tesis presentada en opción al Título de
Especialista en Fruticultura Tropical**

**Jagüey Grande
2014**



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESTUDIO DEL ESTADO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS MÁS IMPORTANTES QUE ABASTECEN LAS PLANTACIONES CITRÍCOLAS DE JAGÜEY GRANDE

Tesis presentada en opción al Título de
Especialista en Fruticultura Tropical

Autor: Ing. José Ramón Martínez Luzardo

Tutor: MSc. Héctor Díaz Álvarez

Jagüey Grande

2018

DEDICATORIA

A mis padres:

Pablo R. y Estrella, que siempre me han apoyado en todo momento y me han inculcado buenos valores y que he llegado hasta aquí por sus buenos consejos y ejemplos, les agradezco todo lo que me han dado, los amo mucho.

A mi esposa:

Yaimara que dados los años que hemos estado juntos en los momentos buenos y malos siempre ha estado a mi lado para darme su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias a toda mi familia que siempre me ha estimulado en mis ansias de superación, por el amor que me inculcaron por esta carrera.

A mi tutor MSc. Héctor Díaz Álvarez por su valiosa contribución en la conducción, elaboración apoyo y dedicación del documento.

Al Dr. C. Ramón Liriano González por su valiosa contribución, conducción y dedicación a la especialidad de Fruticultura Tropical.

Al Dr. C. Miguel Aranguren González y MS.C. Alina Puentes por su apoyo, dedicación y oportunas recomendaciones.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias por darme la oportunidad de superarme como profesional donde pueda interactuar hombre –naturaleza.

A mis profesores que fueron los que me formaron con sus enseñanzas, valores y el amor que siento por mi profesión.

A todos mis compañeros de trabajo que me alentaron y dieron fuerzas para salir adelante.

A todos nuevamente les agradezco su amistad y su apoyo incondicional y les deseo lo mejor en su vida profesional como personal.

Muchas gracias

RESUMEN

Se estudiaron en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” de la provincia de Matanzas, la Intrusión Salina mediante el método de las transversas, así como la calidad de las aguas utilizadas para el riego, determinándose la influencia de los parámetros precipitaciones, evaporación y extracciones de agua de la cuenca, Los estudios mostraron lo no existencia de la cuña salina en las cuencas que abastecen a la empresa así como que sus aguas se categorizan aptas para el riego ubicándose en las categorías I, II y III de la NC XXX: 2011. Se demostró, además, que, en los últimos 16 años, la cuenca M-III-3 no ha rebasado el nivel de alerta y la cuenca M-III-4, solo lo ha hecho en siete oportunidades y en los años 2011, 2014 y 2015 han mostrado comportamientos muy cercanos a este nivel y que los altos niveles de explotación de las cuencas al sobrepasar los volúmenes autorizados y en periodos de baja pluviometría han tenido su influencia negativa en las lecturas batométricas.

INDICE**Pág.**

1. Introducción	1
2. Revisión Bibliográfica.	4
2.1. Los Suelos Salinos	4
2.1.1. Proceso de formación de los suelos salinos. Salinización	6
2.1.2. Proceso de formación de los suelos salinos. Desalinización. Solonetz y Solod.	7
2.2. Clasificación de los suelos cubanos	9
2.2.1. Clasificación de los suelos salinos	10
2.2.2. Correlación de la Nueva Versión de la Clasificación Genética de los suelos de Cuba con la Clasificación Norteamericana Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003).	11
2.2.3. Correlación de la Nueva Versión de la Clasificación Genética de los suelos de Cuba con la Word Reference Base (WRB).	13
2.3. Características y propiedades de los suelos salinos	13
2.4. Origen de las sales	16
2.5. La Intrusión salina	22
2.6. Manejo de los suelos salinos. Recuperación	27
2.7. La salinidad en los suelos cubanos	34
2.8. Estudio de las aguas de riego. Evaluación y calidad	35
3. Materiales y Métodos	46
3.1. Localización del experimento.	46
3.2. Selección de los pozos representativos para las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4	46
3.3. Análisis químicos de los pozos seleccionados.	46
3.4. Análisis de la batimetría mensual durante los años 2000 al 2016 en los pozos seleccionados.	47
3.5. Determinación de los volúmenes de agua autorizados a extraer por el INRH en las áreas Empresa Agroindustrial "Victoria de Girón".	47
3.6. Determinación de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016.	48
4. Resultados y Discusión.	49

4.1. Análisis químicos de los pozos seleccionados.	49
4.2. Análisis de la batometría mensual durante los años 2000 al 2016 en los pozos seleccionados	53
4.3. Determinación de los volúmenes de agua autorizados a extraer por el INRH en las áreas Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.	54
4.4. Determinación de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016.	57
5. Conclusiones.	61
6. Recomendaciones.	62
7. Bibliografía.	63

1. INTRODUCCIÓN.

La Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” se encuentra ubicada al centro-sur de la Provincia de Matanzas y fundamentalmente en el municipio de Jagüey Grande. Su ubicación, gráficamente presenta una forma alargada hacia el oeste, con una extensión aproximada de 540 km²; donde el 76,1 % de esta área pertenece al municipio de Jagüey Grande y el resto a municipios colindantes. La misma limita al norte con los municipios de Perico, Jovellanos, Pedro Betancourt y Unión de Reyes; al sur con la Ciénaga de Zapata, al este con los municipios Calimete y Colón y al oeste con la provincia de Mayabeque (ONE, 2008).

El cultivo de los cítricos constituye la actividad fundamental de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”, caracterizándose por ser la mayor productora del país, logrando además que sus producciones sean exportables y establecerse con la marca Cubanita en el mercado mundial, exportando productos por 579 millones de dólares e importando productos y equipos por 317 millones de dólares (Empresa de Cítricos Victoria de Girón, 2013). En estos últimos años no ha estado exenta a disminuciones en sus producciones y rendimientos motivados por un conjunto de factores entre los que se destacan: clima, suelo, potencial genético de los cultivares, uso de patrones, nutrición, riego, control de malezas y la presencia de nuevas plagas y enfermedades unidos a los problemas económicos que confronta el país. La citricultura cubana en el período 1990-2000 fue seriamente afectada por la falta de financiamiento que provocó una drástica reducción de las áreas de cítricos de 114,7 miles de hectáreas en 1990 a 45,6 miles de hectáreas en el 2008 y la producción de cítricos de 1 millón de toneladas a 391 800 en igual fecha.

Bajo este escenario, desde el año 2014, se aprobó por la dirección del país la ejecución de un nuevo programa para la rehabilitación de la citricultura cubana que, por los efectos del bloqueo y la crisis económica internacional, no han sido posibles alcanzar en toda su magnitud, limitando el avance del programa con la celeridad que él requiere (PCC, 2010).

El Sexto Congreso del Partido aprobó el Lineamiento No. 195 como parte de la política agroindustrial, que ratifica el empeño de la dirección del país en la

recuperación de este sector productivo tan importante para nuestra economía y su balanza comercial externa (PCC, 2010).

En estos lineamientos también se precisó, que el enfrentamiento de problemas tan complejos, requiere contar con una visión estratégica a mediano y largo plazo, definiéndose para ello el lineamiento 45, de la Política Monetaria, los 12 lineamientos previstos de la Inversión Extranjera y el 116 de la Política inversionista, todos relacionados con el financiamiento externo y la visión estratégica a mediano y largo plazo (PCC, 2010). Con el fin de cumplimentar los planes de rehabilitación estipulados, la empresa ha venido trabajando en un programa dedicado a sustituir plantaciones con bajos rendimientos que le ha permitido plantar 3 366 nuevas hectáreas en el último lustro, a pesar de sus limitaciones financieras, comprometiéndose a incrementar sus áreas de frutales en 1 000 hectáreas anuales.

Basados en las grandes extensiones de suelos bajo cultivos que ocupan las áreas de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” así como en los incrementos de plantaciones previstos anualmente y donde un alto por ciento de las mismas son imprescindibles regar, se hace necesario el conocimiento de las cuencas hidrográficas que abastecen hídricamente estos cultivos tanto en su profundidad como en su calidad sobre todo en momentos donde el cambio climático comienza a manifestarse intensamente y los peligros de la Intrusión salina se hacen más evidentes.

Problema.

¿Cómo se han afectado los niveles y calidad del manto freático de las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4 que abastecen las plantaciones cítricas de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” ante los incrementos de las áreas de siembra y disminuciones de las precipitaciones anuales debido al cambio climático?

Hipótesis.

El control de los volúmenes de agua extraídos para el desarrollo y fomento de las plantaciones cítricas, el registro de las precipitaciones y las fluctuaciones en la altura del manto freático y su calidad, permitirán prever futuras afectaciones por salinización en las áreas de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Objetivo general.

Evaluar el estado de las principales cuencas hidrográficas que abastecen las plantaciones de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” ante las disminuciones de las precipitaciones anuales y los incrementos en las áreas de riego debido al aumento de nuevas plantaciones.

Objetivos Específicos.

1. Seleccionar pozos de riego que conformen transversas para caracterizar las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4 en lo que respecta a la intrusión salina y calidad del agua en el abasto de las áreas agrícolas de la empresa.
2. Recopilar y evaluar la información existente de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016 y las evaporaciones.
3. Determinar los volúmenes de agua autorizados y extraídos por concepto de riego en las cuencas M-III.3 y M-III-4.
4. Evaluar la batometría de las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4 relacionándolas con las precipitaciones y volúmenes de agua extraídos de las mismas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Los Suelos Salinos.

El término salinización según Lucinda (2012) se utiliza para denominar el proceso de acumulación de sal en el suelo. Esto ocurre sobre todo en zonas áridas y semiáridas donde, las sales solubles precipitan dentro o sobre la superficie del suelo donde el aumento de los niveles de sal en las capas superiores del suelo puede afectar negativamente al crecimiento de las plantas y a la productividad hasta el punto de producir la muerte de la planta. Concentraciones altas de diferentes sales (por ejemplo, el cloruro de sodio, los sulfatos de calcio y/o magnesio, y los bicarbonatos) afectan el crecimiento de la planta tanto directamente, por su toxicidad, como indirectamente, aumentando el potencial osmótico y dificultando la absorción de agua por la raíz. En climas secos, la acumulación continua de sal puede conducir a la desertificación, mientras que en climas húmedos o subhúmedos se puede producir una salinización moderada o severa estacionalmente.

Respecto a la salinidad se refiere por Lamz y González (2013) la presencia en el suelo de una elevada concentración de sales que perjudican a las plantas por su efecto tóxico y por la disminución del potencial osmótico del suelo. La situación más frecuente de salinidad en los suelos es por NaCl, pero los suelos salinos se suelen presentar distintas combinaciones de sales, siendo comunes los cloruros y los sulfatos de sodio, calcio y magnesio.

Lección 23 (2010) resalta que los suelos salinos tienen altos contenidos de diferentes tipos de sales y pueden tener una alta proporción de sodio intercambiable y que los suelos fuertemente salinos pueden presentar eflorescencias en la superficie o costras de yeso (CaSO_4), sal común (NaCl), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y otras. También definen que, en el comportamiento de los suelos salinos en general, hay tres parámetros fundamentales que se ven afectados. La conductividad eléctrica que define el contenido en sales solubles y la actividad de la mismas; el porcentaje de saturación en sodio del complejo de cambio que define la toxicidad sódica; y el pH que afecta a la disponibilidad de otros elementos y que resulta de la conjunción de los anteriores.

Otero *et al.* (2012), informan que la salinidad es el resultado de procesos naturales y/o antrópicos presentes en todos los suelos que conducen en menor o mayor grado a una acumulación de sales, que pueden afectar la fertilidad del suelo estableciendo que los indicadores químicos de salinidad de carácter global utilizados para la caracterización y el diagnóstico de la afectación por la salinidad son la CE (conductividad eléctrica), PSI (% Na⁺ intercambiable) y pH, cuyos parámetros permiten separar a los suelos afectados por salinidad en tres grupos (tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los suelos según pH, CE y PSI.

Clasificación	pH	CE	PSI	Proceso
Salinos	<8,5	>4	<15	Salinización.
Sódicos	>8,5	<4	>15	Sodificación.
Salinos-Sódicos.	<8,5	>4	<15	Salinización-Sodificación.

Exponen además que existen otros índices o indicadores auxiliares provenientes de los análisis físicos y químicos de las muestras de suelos, frecuentemente utilizados en dependencia de la finalidad de los estudios como Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Relación de Sodio Intercambiable (RSI), % de magnesio, % (Na⁺ + Mg²⁺), potencial zeta, coeficiente de dispersión, estabilidad estructural, dilatación, densidad, curvas de retención de humedad, conductividad hidráulica, etc.

La salinidad es la medida también de la cantidad de sales disueltas en el agua, y tradicionalmente se mide en partes por mil (‰) o como el Total de Sólido Disuelto (TSD). TSD es la concentración de una solución, expresada como el peso total de sólidos disueltos. (1ppm=1miligramo/litro, y 1‰=1gramo/litro). A menudo, la salinidad se calcula mediante la conductividad eléctrica de la solución. Por regla general, cuanto más alta es la concentración de sal en una solución, mejor es su capacidad de conducir la electricidad. Hoy en día, la conductividad eléctrica del agua (EC_w) se expresa en unidades tales como deciSiemens por metro (dS/m). El agua de lluvia, por ejemplo, tiene una conductividad de 0,02 dS/m, mientras el agua de mar tiene una conductividad de 50-60 dS/m. TSD y conductividad no están directamente

relacionados: dos soluciones con el mismo TDS podrían tener una EC_w diferente, dependiendo de los diferentes tipos de sales y de su concentración. De todos modos, una regla básica, generalmente aceptada, para convertir TSD a conductividad es: $TSD \text{ (ppm)} = \text{conductividad (mS/cm)} \times 0,67$. Es fácil encontrar otras unidades de medida como mho/cm, o encontrar submúltiplos como mS (miliSiemens) o μS (microSiemens) (Lucinda, 2012).

2.1.1. Proceso de formación de los suelos salinos. Salinización.

El proceso de formación de los suelos salinos es expuesto a continuación por Cairo y Fundora (2005) y por Hernández citado por Martín (2006) quienes fundamentan el proceso de formación de la siguiente forma

La salinización de las aguas marítimas y oceánicas está relacionada con la acumulación de las sales que se encuentran en las tierras del planeta. Por ello al aflojar las deposiciones marítimas resultan salinas en uno u otro grado y que, por su origen, la acumulación de sal puede ser continental o marítima. La continental está condicionada por la concentración de sales que se liberan durante el intemperismo en las depresiones de diferentes tipos y llanuras sin desagües (cavidades), en tanto que la acumulación marítima está relacionada con la concentración de las sales en las rocas de origen marítimo.

La acumulación de sal en los trópicos esta expresada débilmente, pero a veces cerca de la superficie, junto al mar, donde las aguas subterráneas se apoyan en las marítimas adquiere importancia. Al examinar el mecanismo de salinización de los suelos en el caso de yacencia, cercanos a las aguas subterráneas salinas se debe recordar que debajo de estas se sitúa una capa de agua capilar mojada o capa de agua capilar apoyada. Si la parte superior de esta alcanza la superficie de los suelos, entonces el agua sube por ello se evapora y las sales solubles precipitan. En lugar del agua evaporada, llegan por los capilares nuevas proporciones de agua del flujo subterráneo; tiene lugar la cooperación constante y el ingreso del agua desde abajo (Lucinda, 2012).

Si las aguas subterráneas no alcanzan la superficie, entonces las sales solubles en el agua se acumulan a profundidad hasta que suben y donde, por consiguiente tiene

lugar la evaporación más intensa de la humedad dentro del suelo .Tales casos se determinan por la separación de las sales o por los análisis químicos de los suelos, que descubren el carácter de la distribución de las sales en el perfil hasta las aguas subterráneas. Si la aguas subterráneas se encuentran a una profundidad pequeña y pueden alcanzar la superficie , y además los horizontes salinos se manifiestan a una cierta profundidad de dicha superficie ,entonces la posición de su horizonte puede indicar la profundidad del lavado de las sales en los periodos de lluvia (Otero *et al.*, 2012).

En la salinización de los suelos influyen las aguas marítimas y oceánicas mediante la transportación aérea de las sales con las gotas levantadas por el viento. Esta se llama impulverización y se pueden transportar de 200 - 300 km de la fuente. La solubilidad de las sales en el suelo se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Solubilidad de las sales en el suelo.

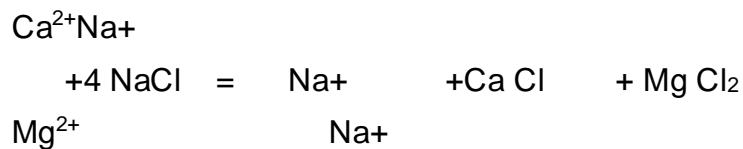
	Sales/Calcio	Sales /Magnesio	Sales/Sodio
Carbonato	CaCO ₃	MgCO ₃	Na ₂ CO ₃
Sulfatos	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄
Cloruros	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl
Nitratos	CaNO ₃	MgNO ₃	NaNO ₃

Las sales no son igualmente toxicas para las plantas. Las más toxicas son las de sodio, luego las de magnesio y por ultimo de calcio, la relación de las sales en el suelo puede variar ampliamente, en dependencia tanto de la fuente de salinización como de las condiciones en que se realiza su acumulación; si es en la parte superior del suelo, más del 2% (solubilidad), elimina la posibilidad de crecimiento la mayoría de las plantas agrícolas.

2.1.2. Proceso de formación de los suelos salinos. Desalinización. Solonetz y Solod.

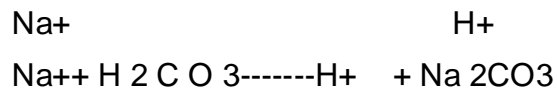
Como ya se ha mencionado el proceso de salinización provoca la acumulación de sales entre ellas las de sodio, que no solo aturan la solución del suelo y se separan

en formas cristalinas, sino también participan en las reacciones de intercambio con el complejo coloidal, desplazamiento de este al calcio y al magnesio, o sea:

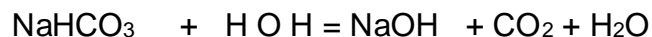


La presencia de sodio en el complejo coloidal condiciona una coagulación muy inestable de coloides; Solamente gracias a la presencia de un gran número de sales los coloides saturados de Na⁺ se mantienen en estado precipitado (coagulado), pero después de eliminar el exceso de sales, el suelo absorbido sobre los coloides minerales y organismos del suelo, que adquieren movilidad.

Los suelos saturados de sodio de intercambio tienen comúnmente la reacción alcalina condicionada por las reacciones de intercambio de Na⁺, absorbido con el ácido carbónico soluble en el agua o carbonatos:



En el suelo aparecen carbonatos y bicarbonatos de sodio, sales de ácido débil y base fuerte. En el agua estas sales sufren la descomposición hidrolítica según lo siguiente:



Como resultado se observa que en el suelo aparece un álcali fuerte, los valores del pH, en el caso de gran cantidad de sodio absorbido, puede alcanzar 10-11. Solo pocas plantas pueden soportar un grado tan alto de alcalinidad, por lo que a medida que se desarrolla este proceso, aparece una vegetación especial de solonets.

La aparición del álcali contribuye a la disolución de algunos compuestos. Bajo la influencia de este sobre las sustancias húmicas, se forman humatos de sodio solubles en agua y bajo la influencia sobre la parte mineral que contiene sílice (Hidróxido de silicio), se forma el sodio silícico soluble en el agua.

El proceso de desalinización es opuesto al de salinización. En la naturaleza con frecuencia uno sustituye al otro o se sobreponen.

En el periodo de lluvias tiene lugar la desalinización de los suelos salinos. Durante este proceso predomina el solonets. En el periodo seco las sales se acercan de nuevo a la superficie y ocurre la salinización del suelo de solonets. Este fenómeno se observa solamente cuando las aguas subterráneas se encuentran cerca de las superficies. Si las aguas se encuentran profundas, entonces el proceso de solonets se sustituye por el de Solod. De forma general a medida que se desarrolla el horizonte de solonets impermeable, la capacidad de filtración de los suelos disminuye más. Por esa razón después de las lluvias siempre hay agua sobre la superficie.

2.2. Clasificación de los suelos cubanos.

Según Hernández y Ascanio (2001) la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, surgió como una necesidad para el desarrollo del país y comenzó en 1965 con la fundación del Instituto de Suelos de la Academia de Ciencias de Cuba el cual comienza el estudio científico de los suelos basado en los principios genéticos de la formación de los mismos y ya en 1971 se publica el Mapa Genético de los Suelos de Cuba a escala 1:250 000 sobre la base de un levantamiento realizado en colaboración con especialistas de la República Popular China que se considera la primera verdadera clasificación genética de los suelos de Cuba cuyos principios y características son publicadas en 1973 en el libro "Génesis y Clasificación de los Suelos de Cuba". Posteriormente se continuó con estudios regionales y de caracterización de suelos que conllevó a la preparación de la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1975) siendo el logro principal de esta línea de trabajo, su implantación a nivel nacional que culminó con la confección del Mapa Nacional de Suelos en escala 1:25 000 (Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, 1990) y posteriormente fue

realizada la tercera Versión (Instituto de Suelos, 1980). En 1980 se publicó el tercer intento de Clasificación Genética de los Suelos, donde no se introducen cambios profundos con respecto a la Segunda Clasificación, sino que se trató de argumentar y profundizar más en la explicación de las taxas superiores de Clasificación, no obstante se introducen algunos nuevos trabajos de suelos que enriquecieron la Clasificación Genética. En 1988 se realizó un Esquema de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, por Grupos y Tipos Genéticos que fue presentado en la Conferencia Internacional de Clasificación de Suelos, en Alma Atá (Hernández *et al.*, 2008) sin otras pretensiones.

Las bases fundamentales de la Clasificación Genética Cubana continúan exponiendo los autores, hasta se momento se basó en sus inicios esencialmente en la génesis de los suelos, sobre el criterio de la concepción neodokuchaeviana: factores de formación, procesos de formación, tipos de suelos. De esta forma las unidades superiores de la Clasificación (Agrupamiento, Tipos, Subtipos de suelos) se determinan principalmente por los procesos y factores que se deducen tuvieron lugar en la formación de los suelos.

No obstante, los aportes que se obtuvieron en esta clasificación, fundamentada en la génesis de los suelos, se necesitó una actualización a la luz de nuevos conceptos desarrollado en la Pedología internacional. se evidenció que la clasificación de suelos basada en los procesos de formación no es del todo objetiva ya que muchas veces los procesos que se manifiestan ocurrieron en condiciones climáticas diferentes a las actuales. Este problema conjuntamente con el desarrollo de la clasificación Soil Taxonomía en 1975, que se fundamenta en: Horizontes y características de diagnóstico mediante parámetros precisos y relativamente fáciles de determinar, conllevó a que la línea de clasificación genética de los suelos fuera quedando rezagada a nivel mundial (Instituto de Suelos, 1975)

2.2.1. Clasificación de los suelos salinos.

Atendiendo a lo planteado por Hernández *et al.* (2003) en la primera Clasificación de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1975), los suelos salinos no fueron incluidos en las taxas superiores (Grande Grupo), no siendo así en la II Clasificación de los Suelos

Cubanos (Instituto de Suelos, 1975) donde aparecen en el Agrupamiento Halomorficos con los Tipos Genéticos Solonchak Mangle y Solonchak. En la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.* 1988) estos suelos son incluidos en el Grupo de Suelos Halomorficos y en los Tipos Genéticos Solonchak, Solonchak-Solonetz y Solonetz y en la nueva versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999) se ubican en el Agrupamiento Hidromorficos y en los Tipos Genéticos Salinos y Sódicos.

Hernández *et al.* (1999) clasificaron los suelos según salinidad en:

1.- Suelos Solonchak típicos. Estos presentan altos contenidos de sales solubles totales superiores a 1% en todo el perfil o en algunos de los horizontes superiores, por lo que dentro del tipo pueden separarse los suelos superficialmente [^]solonchakado[^] (de 0 a 50 cm), medianamente “solonchakado” (de 50 a 100 cm) y profundamente solonchakado (>100 cm). Las sales solubles predominantes son cloruros y sulfatos sódicos.

2.- Suelos solonchak solonetizado. Presentan menor contenido de sales en la superficie, debido a una incipiente desalinización y absorción de sodio en el complejo de intercambio. La conductividad eléctrica se mantiene > 4mmh, pero su pH es mayor que 8,2 a 8,5 y el porcentaje de sodio aumenta, lo que permite clasificarlo de acuerdo con el porcentaje de sodio en:

- No solonetizado..... 0- 5
- Débilmente solonetizado..... 5- 10
- Poco solonetizado..... 10-15
- Solonets..... >15

2.2.2. Correlación de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba con la Clasificación Norteamericana Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003).

Hernández *et al.* (1996 y 2005) exponen que las bases de la Soil Taxonomy resultan de los horizontes y características diagnósticos y los regímenes hídricos y térmicos, así como la mineralogía, textura y otras propiedades como es pedregosidad, graviliosidad, etc. y en relación con las unidades taxonómicas de la Soil Taxonomy se conservan

igual a las clasificaciones anteriores, como son: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie; aunque las bases para cada unidad resulta diferente a los principios que se utilizaban anteriormente.

La correlación entre ambas clasificaciones resaltan los autores, es como sigue:

No tienen correlación a nivel de Agrupamiento y sí con los siguientes Tipos Genéticos que se muestran a continuación:

X.1. Tipo Salino:

Correlaciona con el Grupo de suelos Solonchaks.

Los Subtipos correlacionan con las Unidades en la forma siguiente:

Salino típico.....	Solonchak háplico
Salino mullido.....	Solonchak mólico
Salino cálcico.....	Solonchak cálcico
Salino gléyico.....	Solonchak gléyico
Salino gléyico en profundidad.....	Solonchak gléyico
Salino en profundidad.....	No tiene

X.2. Tipo Sódico:

Correlaciona con el Grupo de suelos Solonetz. Los Subtipos correlacionan con las Unidades de la forma siguiente:

Sódico típico.....	Solonetz háplico
Sódico mullido.....	Solonetz mólico
Sódico gléyico.....	Solonetz gléyico
Sódico en profundidad.....	No tiene
Sódico arénico.....	Solonetz estágnico

2.2.3. Correlación de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba con Word Reference Base (WRB).

De igual forma Hernández *et al.* (2003 y 2005) señalan que la Clasificación de los Suelos de Cuba desde el establecimiento de la 2da. Versión (Instituto de Suelos, 1975), hasta la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos (Hernández *et al.*, 1999), adoptó cinco unidades taxonómicas (Agrupamiento, Tipo, Subtipo, Género y Especie), que se han mantenido aunque las bases para su establecimiento ha ido cambiando, sobre todo en la última versión donde se incluyeron los horizontes y características de diagnóstico como elemento de clasificación de suelo y para el caso del WRB, se tiene al igual que en la Leyenda Revisada de la FAO, dos unidades taxonómicas: El Grupo Referencial de Suelos y la Unidad de Suelos.

Los Grupos Referenciales de Suelos se distinguen por la presencia (o ausencia) de horizontes, propiedades y/o materiales de diagnóstico específicos. Un número limitado de “calificadores”, con definiciones únicas, describen las Unidades de Suelos, dentro de los Grupos Referenciales de Suelos.

La correlación de los agrupamientos de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con los grupos referenciales de suelos del WRB realizada por los mismos autores, se expone seguidamente:

X. Agrupamiento de suelos halomórficos

Si tienen horizonte principal sálico, con características propias de los suelos Solonchaks se correlacionan con -----Solonchks

Si tienen horizonte principal nítrico, entonces se corresponden con..... Solonetz.

2.3. Características y propiedades más importantes de los suelos salinos.

Jaramillo (2002) expone que los suelos salinos presentan una conductividad eléctrica (capacidad de una solución de transmitir la electricidad, la cual está en relación directa con su contenido de sales) en el extracto de saturación de 4 o más dSm^{-1} , un PSI (porcentaje de sodio intercambiable) < 15% y generalmente su pH es menor a 8,5, destacando que las propiedades de estos suelos dependen de su contenido de sales el cual controla el potencial osmótico de la solución del suelo y, por lo tanto, buena

parte de la disponibilidad de agua para las plantas, además considera que este contenido también controla la posibilidad de que se presente toxicidad en ellas; los contenidos de bases son relativamente altos pero su balance es muy variable; los aniones más comunes, en estos suelos, son los cloruros y los sulfatos, aunque, a veces, es importante el contenido de nitratos. Como estos suelos generalmente se desarrollan en condiciones de climas secos, su contenido de materia orgánica es bajo y, por tanto, hay deficiencia de nitrógeno y en las condiciones de pH que predominan en estos suelos también son comunes las deficiencias en fósforo y de elementos menores, exceptuando el molibdeno; los contenidos de bases son generalmente altos, pero son frecuentes los desbalances entre ellas.

Pla (2007) argumenta además que la salinidad en el suelo como característica fundamental, se manifiesta de diferente forma según vaya asociada a la sodicidad o no. Cuando el contenido en sodio cambiante del suelo es bajo pero la conductividad eléctrica es suficientemente elevada para que podamos considerar la presencia de un horizonte sálico, el suelo se incluye en el Grupo Solonchak de la "Base mundial de referencia para los recursos edáficos". Estos suelos se caracterizan por la presencia de un horizonte sálico y la ausencia de un horizonte nítrico, entre otras cosas manifestando como característica una superficie desigual con pequeños montículos de unos pocos centímetros de altura, muy ricos en sales debido a la concentración de las mismas en las áreas más salinas, por efecto de la permanencia de la humedad en ellas durante más tiempo una vez iniciado el periodo de sequía. Este fenómeno es debido a que la acumulación de sales incrementa la presión osmótica de la solución y dificulta su evaporación, favoreciendo que se mantenga el flujo capilar durante un tiempo más largo.

Lamz y González (2013) al analizar los factores que inciden en la salinización y sodicidad de los suelos, consideran que:

La sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio por lo que los suelos sódicos son aquellos que se originan cuando el ion monovalente sodio desplaza otras bases del complejo de

adsorción y se fija a esta estructura superficial, en un nivel de concurrencia que sobrepasa el 15% entre los cationes intercambiables. Las altas concentraciones de sodio intercambiable generan problemas importantes de porosidad y permeabilidad originados por la dispersión de los coloides, aparte de que este elemento también puede producir toxicidad en plantas susceptibles. Con relación a sus propiedades nutricionales, estos suelos presentan las mismas limitaciones que los salinos, aunque en un grado mayor que aquellos, debido a que los sódicos presentan mayores valores de pH que no sólo perjudican las plantas directamente, sino también degradan la estructura del suelo, disminuyendo la porosidad y la permeabilidad del agua. Estos suelos, que se caracterizan por presentar propiedades físicas y químicas desfavorables para el crecimiento y desarrollo de los cultivos que en ellos se desarrollan y necesitan prácticas especiales para su mejoramiento y manejo.

En lo que respecta a los suelos salino-sódicos, estos presentan conductividad eléctrica mayor a 4 dSm^{-1} y $\text{PSI} > 15\%$; generalmente su pH es menor a 8,5 debido a la presencia de exceso de sales; esta misma condición de alta salinidad no deja que la estructura del suelo se colapse al impedir la dispersión de los coloides, por lo cual estos suelos no presentan los problemas físicos de los suelos sódicos.

Los limitantes de fertilidad que presentan se encuentran en una situación intermedia entre los dos grupos anteriores de suelos básicos.

Badia (1992) clasifica los suelos afectados por sales en:

1.- Suelos salinos: Este grupo incluye a los suelos que contienen muchas sales en solución en la fase líquida, resultando perjudiciales para la mayoría de los cultivos. Dado que poseen un bajo contenido en sodio absorbido en las arcillas, en la fase sólida, el suelo se mantiene floculado, estructurado. De esta forma, la infiltración y permeabilidad es igual o mayor que en un suelo normal, y, por lo tanto, el lavado con agua en exceso podría convertirlo en un suelo no salino. Quedando este concepto delimitado técnicamente por la conductividad eléctrica del extracto a saturación (CEO), que debe superar los 4 dSm^{-1} (aproximadamente, los 40 mmol.L^{-1} de sales), teniendo un porcentaje de sodio intercambiable (PS1) inferior a 15.

2.- Suelos alcalinos. Este grupo incluye los suelos que contienen una cantidad muy alta de sodio intercambiable, capaz de interferir en el crecimiento de la mayoría de los cultivos. La abundancia de un ion monovalente tan activo como el sodio frente a los bivalentes calcio y magnesio determina la individualización y dispersión de las partículas del suelo, situación terrible desde el punto de vista de su recuperación. Técnicamente, un suelo alcalino posee un PSI mayor de 15 y una CEO inferior a 4 dSm^{-1} . Su pH es alcalino, variable entre 8,5 y 10 debido a la ausencia de H^+ y la abundancia de Na^+ en la solución del suelo.

3.- Suelos salino-alcalinos. En estos suelos aparece, junto a un excesivo contenido en sales solubles, un alto PSI. Mientras estos suelos mantienen sales en la fase líquida del suelo, sus características son semejantes a las de los suelos salinos. Sin embargo, su lavado con agua de bajo contenido electrolítico (de "buena calidad") conducirá a la formación de suelos alcalinos, mucho más problemáticos.

En estos suelos se verifica que la CEO sea mayor de 4 dSm^{-1} y el PSI, mayor de 15.

4.- Suelos normales. En este grupo encontramos los suelos que no poseen sales como para resultar perjudiciales para los cultivos, siendo la CEO inferior a 4 dSm^{-1} y el PSI inferior a 15.

2.4. Origen de las sales.

Badia (1999) afirma que el origen de las sales es un factor a conocer dentro del análisis del estatus salino de una región y que éstas han podido tener un origen marino, litológico o antrópico, fundamentando que las de origen marino aparecen en zonas del litoral mediterráneo, donde encontramos procesos de salinización por transporte de las sales desde el mar (sal cíclica) y que esto puede ser debido a la formación de aerosoles ricos en sales, que son transportados y depositados tierra adentro, a la infiltración subterránea del agua marina o a la redisolución de sales fósiles. Respecto a las de origen litológico señalan que algunos materiales litológicos sobre los que actualmente se ha desarrollado un suelo son ricos en sales al tratarse de materiales que sedimentaron en condiciones marinas y en cuanto a las sales de origen antrópico citan que actividades humanas ejercen un gran impacto sobre la naturaleza, teniendo la agricultura una particular importancia donde la irrigación, una

de las prácticas más antiguas de la agricultura, ha conducido a resultados favorables y desfavorables; entre los causantes principales de resultados desfavorables está la salinización, que por su inducción antrópica es denominada salinización secundaria y cita que los mecanismos por los que se provoca esta salinización son variados, siendo éstos:

- 1.- Por aporte de aguas de baja calidad (aguas de reutilización agrícola, aguas residuales industriales o urbanas).
- 2.- Por elevación del nivel freático salino.
- 3.- Por intercepción del drenaje natural.
- 4.- Por exposición de materiales litológicos de alto contenido en sales.

Salinización y sodificación (2006) resalta que estos procesos en los suelos agrícolas son quizás los problemas más serios que enfrenta la agricultura en nuestros días. La aceleración de estos procesos se debe a la intensificación global de la desertificación, a la aplicación indiscriminada del agua para riego en zonas cercanas al mar y a la introducción masiva de sistemas de riego, sin asegurar que el destino final del drenaje sea el mar. Estos procesos provocan una disminución en el desarrollo y la producción de varios cultivos. Tal el caso de cultivos sensibles como los frutales (aguacate, ciruelo, almendro, peral, y cítricos entre otros), mientras que dentro de los rangos normales de salinidad, la sensibilidad de la planta está determinada sobre todo por la composición de las sales y no por la concentración total de éstas.

Entre los procesos que favorecen la salinización del suelo GAT (2007) menciona los siguientes:

- 1.- Calidad del agua de riego y su manejo. La fuente principal del cloruro, el boro y el sodio es, en muchos casos, el agua de riego. El manejo correcto del riego puede reducir la toxicidad de estos elementos.
- 2.- Bombeo exagerado, sobre todo de pozos cercanos al mar.

3.- Lluvias escasas. Una baja pluviometría no asegura el lavado de las sales que se acumulan en el suelo como resultado del riego. Además, no hay aportes de agua a los acuíferos.

4.- Alta evaporación. En regiones con una tasa alta de evaporación las sales se concentran en la capa superior del suelo.

5.- Capa freática superficial. Las sales que contiene el agua que llega con facilidad a la superficie del suelo por capilaridad se concentran en la capa superior del suelo.

6.-Depresiones del terreno. Las sales superficiales son arrastradas por el agua a las partes bajas del terreno.

7.- Baja capacidad de infiltración. Dificulta la lixiviación de las sales.

8.- Drenaje insuficiente. Para el lavado de las sales es necesario asegurar el drenaje interno y superficial.

9.- Alta capilaridad del suelo. Relacionado con los dos puntos anteriores.

10.- Tipo de suelo. Suelos arcillosos tienden a salinizarse con más facilidad.

También Otero *et al.* (2007) destacan que 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 regadío, 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.

Lucinda (2012) informa que la acumulación de sal en el suelo es el producto final de diferentes procesos. Así, el término salinización puede incluir procesos debidos a causas diferentes que conducen a un mismo resultado. Por lo general, podemos distinguir salinización primaria, debido a las características naturales del suelo, y salinización secundaria, donde la actividad humana juega un papel central. Básicamente, la salinización ocurre donde, dependiendo del suelo y de las características de las aguas subterráneas, el equilibrio entre la precipitación, el riego y la evaporación se desplaza hacia la evaporación.

Podemos identificar tres procesos principales que pueden causar la salinización y citan:

- 1.- La subida del nivel freático hasta (o casi hasta) la superficie del suelo. Esto ocurre en áreas secas no irrigadas donde las sales se acumulan, por la evaporación del agua, en la superficie del suelo.
- 2.- El empleo excesivo de agua para el riego en climas secos, con suelos pesados, que causa la acumulación de sal porque no se lava suficientemente con las precipitaciones.
- 3.- La intrusión de agua salada. Esto ocurre en áreas costeras donde el agua de mar sustituye a las aguas subterráneas que han sido sobreexplotadas.

Lamz y González (2013) plantean que el origen de la salinidad puede ser explicado por dos vías: La primera es natural, ya sea por la cercanía y la altura sobre el nivel del mar, la intemperización y la existencia de sales también son causas primarias de salinidad que se agudizan en condiciones heterogéneas de micro topografía y las propiedades físico-químicas del perfil del suelo, como son: la textura, la estructura, la porosidad, la permeabilidad, la capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico juegan un papel importante. De ahí que en regiones áridas y semiáridas esta situación es predominante, incluso, en áreas con mejores promedios anuales de precipitación, como en los climas trópicos seco y templado seco, la presencia de períodos secos más largos, puede condicionar la ocurrencia de procesos de salinización Además de las adversas condiciones climáticas, se deben considerar otros factores, en la ocurrencia de salinidad, como son: las aguas salinas

subterráneas, las tierras bajas cercanas a las costas, los pantanos y las lagunas litorales, así como en las áreas cercanas a minas y bóvedas salinas .

La segunda causa, continúan exponiendo los autores, es el resultado de las incorrectas prácticas agrícolas del suelo y el mal manejo del agua para el riego, lo cual permite la movilidad de las sales dentro del suelo y el transporte de las mismas a nuevos sitios. Esto es conocido como proceso de salinidad antrópica o secundaria, convirtiéndose la salinización de los suelos en una consecuencia del desarrollo de la sociedad humana. La segunda causa, es el resultado de las incorrectas prácticas agrícolas del suelo y el mal manejo del agua para el riego, lo cual permite la movilidad de las sales dentro del suelo y el transporte de las mismas a nuevos sitios. Esto es conocido como proceso de salinidad antrópica o secundaria, convirtiéndose la salinización de los suelos en una consecuencia del desarrollo de la sociedad humana.

Mata *et al.* (2014) destacan que el conocimiento sobre el origen, dinámica y las consecuencias de la salinidad, abre las puertas a las nuevas generaciones para abordar esta problemática, que impone la necesidad de dar soluciones, y se pueda instrumentar un plan para la posible recuperación o rehabilitación de los suelos afectados por este proceso y estiman que aproximadamente 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales, de estas 397 millones lo son por problemas de salinidad y 34 millones por condiciones asociadas a la sodicidad y que éstas pueden tener un origen tanto natural como antropogénico y destacan que las sales se forman naturalmente en los suelos, cuando el material parental se disuelve, aunque en su acumulación excesiva participen otros mecanismos que, en la mayor parte de las veces, están relacionados con el transporte de sustancias y con los movimientos del agua, por lo que se pueden acumular en las depresiones y al evaporarse formando costras salinas. Los suelos normalmente toman las sales de mantos freáticos superficiales, los cuales suelen poseer sales disueltas en menor o mayor proporción. La existencia de estos mantos freáticos es frecuente en las depresiones y tierras bajas. En las regiones áridas, las sales pueden ascender por capilaridad. El viento, en las zonas, áridas arrastra gran cantidad de partículas en suspensión, tales como, carbonatos, sulfatos y cloruros, aplicándose en los suelos.

De igual forma consideran que las aguas subterráneas empleadas para la irrigación contienen sales solubles como el sodio, calcio, magnesio, potasio, sulfatos y cloruros disueltos de las rocas y minerales. La evapotranspiración del agua de riego, finalmente hacen que se acumulen en los suelos cantidades excesivas de sales, salvo que exista una lixiviación y un drenaje adecuados. Este proceso se denomina salinización por irrigación, donde el riego ha provocado procesos graves de salinización. Las aguas usadas en el riego sin control alguno, o debido a un descenso del nivel freático, llevando a cabo la intrusión de aguas salinas, así como la movilización de las tierras, la aparición de rocas salinas en el terreno, han provocado la contaminación del suelo y una acumulación de sales en los suelos de las depresiones por la acción de las aguas de escorrentía. Por otra parte, la aplicación de fertilizantes en cantidades excesivas, han llevado a cabo la contaminación de los acuíferos, influyendo después en las aguas de riego. Estas situaciones se dan en zonas áridas, que se encuentran bajo una actividad agrícola muy intensa. También las actividades industriales, han provocado daños en las zonas que se encuentran bajo su influencia, además de la contaminación atmosférica de su cuenca hidrográfica. En lo que respecta a las sales de origen antropogénico los autores consideran que se deben principalmente a la actividad agrícola y pecuaria, Similares valoraciones son coincidentes con lo señalado por (Lección 13, 2001) quienes agrupan los factores que inciden de la siguiente forma:

. Factores naturales (medioambientales). Son los que originan salinización o sodificación por:

1.-Acontecimientos geológicos, que pueden aumentar la concentración de sales en las aguas subterráneas y como consecuencia de ello, en los suelos.

2.- Factores naturales, que pueden provocar el afloramiento de aguas subterráneas ricas en sales a la superficie, o cerca de la superficie, o en horizontes situados por encima de la capa freática.

3.- Infiltración de aguas subterráneas en zonas situadas por debajo del nivel del mar, es decir, microdepresiones con poco o ningún drenaje.

4. Inundaciones de agua procedente de zonas con sustratos geológicos que liberan grandes cantidades de sales.

5.- La acción del viento, que, en las zonas costeras, puede acarrear cantidades moderadas de sal tierra adentro.

Los factores naturales que inciden en la salinidad de los suelos son el clima, el material de roca madre, el tipo de ocupación del suelo, el tipo de vegetación y la topografía.

Factores de origen humano que pueden dar lugar a salinización o sodificación:

1.- Riego con aguas salobres.

2.- Subida de la capa freática como consecuencia de las actividades humanas (filtración de canales y depósitos sin revestir, distribución desigual del agua de riego, malos métodos de regadío, drenaje inadecuado).

3.- Uso de fertilizantes y otros insumos, especialmente en zonas de agricultura intensiva en las que la tierra es poco permeable y las posibilidades de lixiviación son limitadas.

4.- Utilización de aguas residuales salobres para el riego.

5.- Vertido de aguas residuales salobres.

6.- Contaminación de suelos por aguas y subproductos industriales salobres.

Los factores de origen humano que más inciden son el uso de la tierra, los sistemas de explotación, la ordenación territorial y la degradación de las tierras. Los métodos inapropiados de riego (como el empleo de agua salina para el riego) y el drenaje insuficiente provocan salinización.

2.5. La intrusión salina.

El término intrusión marina según Badia (1992) es el proceso de movimiento temporal o permanente del agua salada tierra adentro desplazando al agua dulce, cuando este proceso es consecuencia de la disminución del flujo de agua dulce hacia el mar, debido a la intervención humana, es decir, a la intensa explotación del acuífero por bombeos. Es un proceso esencialmente contaminante y que deteriora

grandes volúmenes de agua, que experimentan un notable incremento de la salinidad, donde la característica esencial de los acuíferos costeros es la coexistencia de dos fases fisicoquímicas diferentes: agua dulce y agua salada. Son fluidos de densidad, temperatura y viscosidad diferente y, desde luego, muy diferente composición química debiéndose presumir la existencia de un límite de separación entre ambas, denominado interface, si bien la miscibilidad entre el agua dulce y el agua salada no permite que esta interface sea neta, sino que, realmente, da lugar a una zona de mezcla, de difusión o de transición, de anchura variable que depende esencialmente de las variaciones del nivel piezométricos, del espesor del acuífero y de la permeabilidad del entorno costero. Con esta premisa, y en situaciones estacionarias normales, la masa de agua salada adquiere la forma de cuña, apoyada en la base del acuífero y con el vértice dirigido tierra adentro. La separación, en el seno del acuífero, del agua dulce y salada se establece mediante la denominada interface que, debido a la miscibilidad entre ambas fases acuosas, puede tener anchura variable, dando lugar a una zona de contacto, de mezcla o de difusión.

Graniel *et al.* (2004) consideran que en un acuífero costero, en condiciones naturales, se produce un movimiento tridimensional del agua dulce hacia el mar y considerando que el agua dulce y salada son miscibles, existe una zona de transición donde por procesos de difusión, estas aguas se mezclan progresivamente. La zona de mezcla se puede desplazar por efecto de: la disminución del flujo de agua dulce al mar, del aumento de la permeabilidad y heterogeneidad, de la diferencia de densidades y de las oscilaciones de las mareas. En un acuífero costero sin explotación existe un equilibrio agua dulce-agua salada que dependen del volumen de agua dulce que se vierta al mar dulce que fluye hacia el mar se reduce y la interface tiende a alcanzar un nuevo equilibrio, penetrando tierra adentro Cuando el acuífero es explotado, el volumen de agua dulce que fluye hacia el mar se reduce y la interface tiende a alcanzar un nuevo equilibrio, penetrando tierra adentro Si el volumen de extracción es mayor que la recarga del acuífero el proceso dinámico de la intrusión es continuo y en un cierto tiempo los pozos o sondeos de explotación se contaminaran por agua salina. Por lo tanto, para mantener la interface en un cierto

equilibrio hay que dejar que una porción de volumen de agua dulce se vierta hacia el mar.

Lección 23 (2010) expone respecto a la intrusión salina que los acuíferos costeros presentan algunas peculiaridades que tienen notable incidencia en su régimen hidrodinámico, en su modo de explotación, en los riesgos potenciales de contaminación y en las precauciones que deben tomarse para su preservación, y que sin duda, su carácter de costeros tiene su principal definición en que se encuentran en contacto con el mar, pero también existen otras características asociadas que les confieren habitualmente (no siempre) especiales condiciones; estas características son:

- 1.- Suelen recibir alimentación lateral subterránea.
- 2.-La demanda hídrica suele ser elevada debido a que se desarrolla intensa actividad agrícola (si la climatología es adecuada).
- 3.- El mar representa un límite de potencial constante (cero).
- 4.- El flujo se dirige aproximadamente normal a la línea de costa.
- 5.- La explotación suele provocar descensos piezométricos bajo el nivel del mar.
- 6.- Como consecuencia de lo anterior, son frecuentes las situaciones de salinización por intrusión marina.

Conviene apuntar expresan los autores que los acuíferos costeros pueden ser de muy diversa naturaleza, tanto en rocas consolidadas (normalmente acuíferos carbonatados) como no consolidadas (acuíferos detríticos) y que también pueden ser libres, confinados o semiconfinados. En cada caso, dependiendo de sus parámetros hidrodinámicos y de su litología, algunos mecanismos tanto dinámicos como químicos pueden ser de mayor relevancia y que sin duda alguna, de todas las características mencionadas la salinización por intrusión marina es la más notable y la más específica, por lo que a este tema se le presta a continuación especial atención dado, que uno de los procesos de contaminación más frecuentes es la salinización de sus aguas por el avance del agua de mar tierra adentro, fenómeno que se conoce con el nombre de intrusión marina. En estos acuíferos costeros que

vierten sus aguas directamente al mar, se crea un estado de equilibrio entre el flujo de agua dulce y el flujo de agua salada, que sólo sufre modificaciones naturales a muy largo plazo debidas a cambios climáticos o movimientos relativos de la tierra y el mar. Cuando se modifican las condiciones naturales, bien por incremento del flujo de agua dulce debido a fuertes lluvias o a recargas inducidas (recarga artificial, riego con aguas superficiales, etc.), bien por disminución de ese mismo flujo debido esencialmente a bombeos en el acuífero, el equilibrio agua dulce-agua salada, se desplaza en un sentido u otro produciéndose la intrusión en este último caso, cuando las extracciones de agua subterránea hacen disminuir el flujo de agua dulce y el agua de mar invade el continente. Desde el punto de vista hidrodinámico la intrusión marina tiene lugar básicamente cuando los niveles dinámicos y/o estáticos en el interior del continente se sitúan por debajo del nivel del mar. La experiencia demuestra que una vez que se produce el aumento de la salinidad, el proceso evoluciona con extrema rapidez y su vuelta al estado de equilibrio puede requerir mucho tiempo.

Wikipedia (2011) también define la intrusión salina como el proceso por el cual los acuíferos costeros están conectados con el agua del mar lo que supone que el agua salada (procedente del mar) fluye hacia el subsuelo continental mezclándose con las reservas de agua dulce. Este proceso se debe a la mayor densidad del agua del mar (debido a que contiene más solutos) que el agua dulce. Esta diferencia de densidades provoca que la presión en el fondo de una columna de agua salada sea mayor que la de una columna de agua dulce de la misma altura. Si se conectaran ambas columnas por debajo, el agua salada fluiría hacia la columna de agua dulce. El proceso se detiene cuando la columna de agua dulce se hace mayor, la presión aumenta y consigue igualar a la intrusión de agua de mar. Si se extrae toda el agua dulce, el agua salada inunda el acuífero y resulta muy difícil de recuperar.

El comportamiento hidrológico de la intrusión salina se produce cuando el agua salada, más densa, se introduce desde el mar hacia los acuíferos costeros. Esto se produce si se reduce el nivel freático de agua dulce, o se eleva el nivel medio del mar. En ambos casos, disminuye la altura de la falda por encima del nivel del mar y por lo tanto también la que está por debajo del nivel del mar: el agua salada se eleva

y se mueve penetrando en el continente. La superficie de separación entre agua dulce y salada se llama cuña salina. El bombeo de agua dulce de los acuíferos costeros provoca una disminución del nivel de la falda; la construcción de canales, o la elevación del nivel medio del mar, provocado por el calentamiento global provocan también una elevación de la cuña salina.

Entre los efectos indeseables causados por la intrusión salina (Degradación química Gestión y Conservación, 2000) destacan: áreas del acuífero inutilizadas por elevada salinidad, abandono de captaciones, necesidad de buscar nuevas áreas de explotación, ascenso posterior de niveles freáticos con problemas de inundación de sótanos de edificaciones cercanas a la línea de costa, etc. por lo que en lo posible se debe evitar la ocurrencia de la intrusión salina, ya que la recuperación de los acuíferos puede ser muy costosa. No obstante, existen diversas metodologías para lograr la recuperación de las áreas afectadas citándose entre éstas las que se destacan por la construcción de barreras físicas en la línea de costa; implementación de barreras hidráulicas de inyección; recarga artificial, reducción de los volúmenes de explotación de agua subterránea; reubicación de los pozos de explotación y depresión de la cuña salina por bombeo.

Analizando la problemática actual del cambio climático, Chávez (2011) afirma que el cambio climático global afectará la renovación y la calidad del agua subterránea y que la importancia de la reserva será aún mayor donde se acentúen las sequías ya que el ascenso del nivel del mar afectará a los acuíferos costeros, inutilizando pozos cercanos a la costa y reduciendo el espesor de agua dulce acentuándose la intrusión salina en los acuíferos costeros ya sobre explotados.

El ascenso del nivel del mar modificará también la posición de equilibrio de la interface agua marina/agua dulce, provocando su migración gradual hacia tierra adentro. Una estimación simplista señala el autor: “por cada decímetro de ascenso del nivel del mar, la interface ascenderá 4 m”.

2.6. Manejo de los suelos salinos. Recuperación.

Analizando la recuperación de los suelos salinos y sódicos, Zamolinski (2003) destaca que en los suelos salinos la principal acción a desarrollar para recuperarlos consiste en eliminar las sales que se encuentran en exceso en él, lo que se logra haciendo pasar a través del suelo una cantidad adecuada de agua, generalmente aplicada con algún sistema de riego, destacando que el método más eficiente de hacer los lavados es fraccionando la dosis en varias aplicaciones en lugar de aplicarla en un solo riego. Para garantizar que las sales disueltas en el agua realmente sean eliminadas del suelo, debe proveerse un adecuado sistema de drenaje que las reciba y las exporte del lote que está en recuperación.

Generalmente, después de que se han eliminado las sales perjudiciales del suelo con los lavados, es necesario hacer unos lavados de mantenimiento, los cuales pueden hacerse periódicamente e independientes del riego convencional para el cultivo o pueden hacerse independientes del riego aplicando un exceso de agua en cada uno de ellos.

En cuanto, a los suelos sódicos el autor plantea que son más difíciles de recuperar debido al deterioro de sus propiedades físicas, por lo que se requiere remover del suelo el Na^+ que está ocupando los sitios de intercambio. La remoción del Na^+ del complejo de intercambio se hace adicionando al suelo que aporten Ca^{2+} o que activen el que hay en el suelo para que lo reemplace. Una vez removido el Na^+ se aplican riegos para lavar. En este punto es donde se presenta la mayoría de complicaciones para la recuperación, pues el suelo ha perdido su estructura y, por tanto, su espacio poroso y su permeabilidad, dificultando los lavados.

Se hace necesario mejorar las propiedades físicas del suelo para mejorar la eficiencia de los lavados; estas mejoras pueden hacerse de varias formas:

1.-Mecánicamente, mediante aradas profundas para romper discontinuidades hidráulicas entre horizontes del suelo o con subsolado para romper horizontes y/o capas compactadas o cementadas.

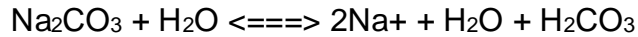
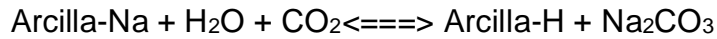
2.-Adicionando arena a suelos arcillosos para cambiar su textura y, por tanto, sus propiedades hidrológicas.

3.-Aplicando materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y las propiedades relacionadas con ella; los productos de la descomposición de este material pueden mejorar la solubilidad de ciertas sales de calcio en el suelo y favorecer la sustitución de Na^+ por Ca^{2+} .

Tema 12 (2005) en forma coincidente con lo antes expuesto, establece que para la recuperación de suelos salinos es necesario el lavado de las sales, mediante el cual, o son transportadas a horizontes más profundos de los explorados por las raíces de las plantas, o son evacuadas a otras zonas, por medio de drenes. Las zonas receptoras no deben ser sensibles a la contaminación originada. El manejo del suelo, para la eliminación de las sales, se realiza de distinta manera y con resultados diferentes según el problema de que las sales solubles sean tóxicas o la presencia del sodio en el complejo de cambio (carbonato y bicarbonato sódicos). En el primer caso su planteamiento es muy sencillo y su realización práctica también es relativamente fácil, pero si el problema de toxicidad lo representan las sales alcalinas de sodio el problema es más complejo y los resultados son aún más problemáticos ya que para eliminarlas, no basta con regar abundantemente. Por lo tanto, el tipo de sales presentes va a condicionar las posibilidades de recuperación.

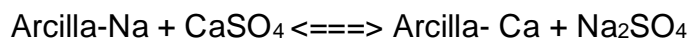
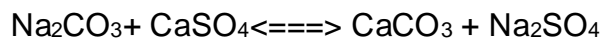
Para los cloruros sódicos el lavado es relativamente fácil en suelos con yeso, en los que el Ca^{2+} que se libera no permite que el Na^+ pase a forma intercambiable, sin embargo, la eliminación del cloruro magnésico y del sulfato magnésico del suelo es difícil, ya que el Mg^{2+} debido a su alta densidad de carga tiende a ocupar las posiciones de intercambio, desplazando a los iones monovalentes durante el lavado; por lo que su lavado requeriría enmiendas cálcicas y además de regar, en la gran mayoría de los casos, es necesario extraer artificialmente el agua que se ha infiltrado en el suelo para evitar que ascienda el nivel freático de la zona que aportaría nuevas sales al suelo.

Pero si en el suelo son abundantes las sales sódicas de reacción alcalina como los carbonatos y bicarbonatos sódicos, el lavado artificial del suelo provoca efectos contraproducentes, ya que al añadir más agua lo que se consigue es que el suelo sea cada vez más alcalino, pues como ya hemos visto.



En estos casos, el problema puede solventarse (aunque con graves dificultades prácticas) utilizando mejoradores que consiguen cambiar el anión de la sal sódica. Estos mejoradores pueden ser de varios tipos, aunque los más frecuentemente empleados son de tres clases: otras sales solubles de calcio, como el yeso, ácidos o formadores de ácido, azufre, ácido sulfúrico, sulfatos de hierro o aluminio y sales de calcio de baja solubilidad, como la caliza molida o subproductos de la industria azucarera..

El procedimiento usual es añadir yeso sobre la superficie, con lo cual se forma sulfato sódico que es una sal casi neutra y por tanto ya si lavable:



Solé y Cantón (2006) analizan la salinización, en sentido amplio, definiendo que se produce más por la presencia de sales en el suelo, que por falta de lavado donde se van acumulando éstas progresivamente en la capa superficial y plantean que conviene hablar de dos procesos distintos: salinización en sentido estricto y sodificación o alcalinización. La principal consecuencia del primer proceso es la dificultad de las plantas en hidratarse convenientemente debido al aumento de la presión osmótica en el suelo o sustrato. La principal consecuencia de la sodificación es la pérdida de calidad en la estructura del suelo por dispersión de sus coloides (arcillas y compuestos húmicos), causando compactación y falta de aireación en el suelo o sustrato. En la salinización, en sentido amplio, interviene no solo el suelo sino también la calidad del agua (lluvia, riego), por lo que ambos factores deben estudiarse con detalle.

La salinidad y la sodicidad son componentes naturales de muchos sistemas agrarios y de algunos ecosistemas naturales. El primer paso para poder evitar, mitigar o corregirla salinidad y/o la sodicidad de un suelo es su correcta identificación. Un suelo salino se define como aquel que tiene una conductividad eléctrica superior a 4

dS/m (o mmhos/cm). Es importante señalar que este es el límite inferior de un valor que depende también de la tolerancia de las plantas y un suelo sódico se define como aquel suelo no salino que contiene suficiente sodio intercambiable como para afectar negativamente la producción vegetal y la estructura del suelo en la gran mayoría de condiciones de suelo y planta. La relación de sodio absorbido o RAS del extracto de pasta saturada debe ser superior a 13. La sodificación no es solo el resultado de un aumento absoluto del Na^+ en la solución del suelo, sino sobre todo a la disminución drástica del contenido en iones Ca^{2+} y Mg^{2+} debido a la precipitación de las sales que los contienen. Una salinidad elevada conduce a una sequía fisiológica de las plantas debido a que deben hacer frente a una presión osmótica demasiado elevada para extraer agua del medio (se impide una adecuada absorción de agua por las raíces). También conlleva problemas de toxicidad: algunos iones, como el cloro, el sodio y el boro, pueden afectar a procesos fisiológicos, alterando el correcto desarrollo de las plantas.

Álvarez (2008) analizando la salinización en los suelos destaca que el índice más utilizado para detectar la salinización en los suelos es a través del efecto que producen sobre los cultivos o mediante el análisis químico, independientemente de la existencia de otras características que sirven para diagnosticar la presencia de sales en el perfil del suelo, estableciendo que cuando la salinización se produce por el uso indebido de aguas con alto grado de mineralización ($> 3 \text{ g.L}^{-1}$) en el riego o por el transporte eólico de las sales (impulverización), éstas se concentran en la parte superior del perfil, provocando la destrucción de la estructura del suelo, convirtiéndola en polvorienta y comienza a aparecer poco a poco la vegetación del tipo halofítica. Este tipo de salinización puede afectar a cualquier tipo de suelo y producirse bajo cualquier condición climática en Cuba y una vez que cesan las causas que la provocaron, comienza el lavado paulatino de estos, sin embargo, los suelos que presentan una capa de sales en el perfil afectados por un manto freático salino, presentan características diagnóstico diferentes. Estas sales se depositaron en el pasado, bajo un clima más seco que en el actual y se conservan bajo las formaciones geológicas con intensidades variables de meteorización, provocando la salinización de las aguas subterráneas. Esta condición debe presentarse en la parte

inferior del perfil, sin embargo producto del mal manejo (eliminación de la vegetación natural, obstrucción de drenajes naturales y artificiales y la aplicación del riego sin obras de drenaje en suelos con agua freática con alto grado de mineralización) han provocado la ascensión de las sales hasta diferentes partes del perfil.

En cuanto a la recuperación de estos suelos, continua exponiendo el autor, en los suelos salinos el tratamiento implica reducir el contenido de sales, para los salinos sódicos se requerirá reducir dicho contenido de sales y tomar medidas para evitar que se deterioren sus propiedades físicas y en los sódicos, el desplazamiento del sodio intercambiable repercute en un mejoramiento de sus condiciones físicas, siendo éstos los más difíciles de recuperar.

Para la recuperación de los tres tipos de suelos se utilizan varios métodos, que en su mayoría, la mayor eficiencia de su utilización resulta de la combinación de varios de ellos, es decir, complementándose unos con otros, siendo éstos los siguientes:

A.- Métodos físicos.

Estos métodos inciden principalmente en las condiciones físicas del suelo (sobre todo para los sódicos), propiciando la eficiencia de los métodos hidrotécnicos y químicos, a excepción de la labranza profunda que mejora las condiciones químicas y físicas de los suelos sódicos y salinos-sódicos. En su mayoría son muy económicos, excepto la inversión del perfil.

Los mismos pueden o no aplicarse como auxiliares o complementarios en la recuperación, la mayoría constituyen medidas prácticas muy económicas, excepto la inversión del perfil. En general puede asumirse que estas medidas se encaminan a facilitar el lavado, pues el problema fundamental de los suelos sódicos estriba en sus condiciones físicas. Entre los principales métodos, el autor cita:

1.- Subsoleo: Consiste en abrir canales en el suelo con el subsolador para mejorar su permeabilidad. Su efecto beneficioso persiste solo por un ciclo de cultivo, ya que el suelo vuelve a su estado original, por efecto del agua, a no ser que se rompan capas duras en el horizonte B u otras. Se emplea en suelos con problemas de sodicidad y cuando no existe CaCO_3 en el suelo, por lo que no debe invertirse el prisma.

2.- Labranza profunda: Se utiliza para traer el yeso o carbonato de calcio de las capas profundas hacia el suelo superficial, facilitando el desplazamiento de sodio adsorbido, dependiendo la profundidad de la labor de la profundidad a que se encuentran las acumulaciones de carbonato y yeso, además incrementa el contenido de humedad de las capas más profundas y mejora la penetración de las raíces , es decir, acondiciona el suelo de tal forma que facilita la desalinización y remoción del sodio, con un mejoramiento de la estructura, permeabilidad e infiltración .

B.- Métodos químicos:

Se basan en la adición de sustancias al suelo (mejoradores o correctores) cuyo fin es proveer de calcio en forma soluble a suelos con problemas de sodio y neutralizar su pH, reaccionar con el CaCO_3 libre en disolución y reemplazar el sodio adsorbido en los coloides arcillosos. El Ca provee al suelo de propiedades físicas deseables para su cultivo, en contraposición a las impartidas por el sodio.

Este propósito puede lograrse mediante la adición de:

a.- Sales cálcicas solubles (yeso).

b.- Ácidos o formadores de ácido que movilizan el calcio del suelo (H_2SO_4 y Azufre).

Por último y haciendo alusión a los métodos químicos el autor establece una serie de consideraciones que se exponen seguidamente:

a.-Se aplican solamente a suelos con problemas de sodio intercambiable, siendo su propósito pasar el sodio intercambiable a la solución del suelo para facilitar su posterior lavado tóxico del sodio en la nutrición vegetal.

b.- Los mejoradores no atacan la causa u origen del problema, sino sus efectos.

Ruiz (2006) analiza la salinidad del suelo como un problema que se encuentran, fundamentalmente, en las regiones áridas y semiáridas, relativamente bajas y que carecen de un drenaje apropiado, así como también en las regiones húmedas, donde el suelo puede llegar a ser salino en zonas que bordean el mar, sometidas a inundaciones periódicas que hacen que el nivel de salinidad fluctúe, o en marismas y en dunas, donde el rocío salino desempeña un papel importante.

La autora también analiza que el método de riego empleado tiene una gran influencia tanto en la acumulación como en la distribución de las sales en el perfil del suelo y sostiene que con un manejo adecuado del riego se puede controlar eficientemente la concentración de sales y que cada método de riego tiene unas ventajas y unos inconvenientes:

En el caso del riego por surcos, la salinidad se incrementa preferentemente en ciertas áreas, según la forma de los surcos o de los caballones, lo que puede permitir a las plantas escapar de las altas concentraciones de sales. El riego por inundación en superficies bien niveladas permite aplicar agua de peor calidad que en otros métodos, ya que el control de la salinidad es más sencillo. Sin embargo, en ambos métodos de riego, el consumo hídrico es muy alto y éste es un parámetro que, en zonas áridas y semiáridas es muy importante, más aún si la textura del suelo es gruesa y la infiltración es alta

Por otra parte, señala que el riego por aspersión ofrece la posibilidad de aplicar cantidades inferiores de agua a las que se necesitan en los riegos por superficie. El principal inconveniente de aplicar aguas salinas con este método de riego es que las sales entran en contacto con las superficie foliar y al ser absorbidas provocan daños directos (quemaduras). De hecho, la sensibilidad de los cultivos al riego por aspersión con aguas salinas está más relacionada con la tasa de acumulación foliar de sales (Na^+ y Cl^-) que con la tolerancia del cultivo a la salinidad del suelo. Por todo ello es necesario usar aguas de mayor calidad en riego por aspersión que en riego por superficie. La extensión del daño depende, además, de la frecuencia y duración del riego y de ciertos factores climáticos: en el riego con aguas salinas por aspersión se deben aplicar dosis mayores y menos frecuentes, ya que el daño foliar está más relacionado con la frecuencia que con la duración. Además, es mejor el riego por la noche, cuando la evaporación es menor. De día se deben evitar las altas temperaturas y el viento.

En cuanto al riego por goteo, evita el daño en las hojas y disminuye el consumo de agua, conservando la humedad del suelo alta, lo que permite mantener baja la concentración desales debido a la frecuencia de las aplicaciones. Es especialmente

beneficioso en los suelos arenosos que tienen una baja capacidad de retención de agua y donde la variación en el contenido de agua durante el intervalo de riego es más pronunciada que en suelos de texturas más gruesas. El único inconveniente es la necesidad de eliminar las sales que se acumulan en el frente del bulbo.

Por último, con los sistemas de riego superficial, el principal inconveniente es el lavado de la zona por encima del emisor, ya que la evaporación y el movimiento ascendente de las sales puede causar la acumulación de las mismas cerca de la superficie, pudiendo alcanzar niveles que pueden llegar a ser tóxicos.

2.7. La salinidad en los suelos cubanos.

La salinidad de los suelos cubanos, ha sido estudiada por numerosos especialistas cubanos por lo que forma resumida abordaremos el tema partiendo de lo planteado por Cairo y Fundora (2005) y Lemz y González (2013) quienes destacan que en el año 2011, en Cuba se reportó que el 14,9% de la superficie agrícola se encontraban afectadas por esta problemática, estando involucradas la mayoría de las áreas que se dedican a la producción de cultivos importantes para la alimentación humana y animal, en tal sentido, se reporta a la provincia Granma, región de gran importancia económica para el país, puesto que en ella se cultivan la caña de azúcar, el arroz, los pastos y otras especies y a pesar de ocupar esta provincia un peso importante en la agricultura, su alto potencial productivo se ve afectado por fenómenos degradantes como salinidad, alcalinidad, mal drenaje; en muchos de los casos, inducidos por la propia actividad antrópica, que determina particularidades específicas en el intercambio catiónico de los mismos. También, entre otras regiones prominentes con este fenómeno, están la región sur de las provincias La Habana y Pinar del Río las cuales se cultivan cada año con arroz, donde se ha ido evidenciando signos de afectaciones, los cuales han influido en los rendimientos de este cultivo y en la calidad de vida de los campesinos y obreros que sufren estos embates perdiendo fuente de trabajo e ingresos. Respecto a Pinar del Río, en 1985 se reportó que la provincia tenía afectada por salinidad 5 412,23 ha lo que representaba en aquel entonces que un 9,30% del área agrícola estaba en grave riesgo productivo. Entre éstas, en los CAI arroceros “Los Palacios” y “Ramón López Peña” 6 300 ha y 1

634,95 ha respectivamente se encontraban afectadas por excesos de sales en sus suelos.

En lo que respecta a los procesos de salinización, con procesos de salinidad primaria en el país, solo está asociado con los pantanos litorales y lagunas costeras. Los suelos salinos naturales son una consecuencia de las mareas altas, que ocurren frecuentemente durante los períodos de huracanes, por lo que la mayoría de nuestros suelos afectados por los procesos salinos se originaron de salinidad secundaria y entre las principales causas se encuentran:

- 1.- La deforestación de tierras accidentadas, con el consecuente cambio en el régimen de agua, la ocurrencia de precipitaciones y la intensificación de la erosión.
- 2.- 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.
- 3.- El uso de aguas salinas para la irrigación, provenientes de acuíferos cálcicos subterráneos.
- 4.- 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).

Cuba con una superficie agrícola de alrededor 7,08 millones de hectáreas presenta cerca de un millón de hectáreas afectadas, y alrededor de 1,5 millones presentan problemas potenciales de salinización. Las prácticas que se llevan a cabo en estas zonas, en ocasiones no han sido las más adecuadas, trayendo aparejado la poca expresión del potencial de rendimiento de las variedades cultivadas disminuyendo éstos a valores que traen pérdidas en la producción.

2.8.- Estudio de las aguas de riego. Evaluación y calidad.

Los criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego según García (2012) están definidos cuando la cantidad de sales que entran en la solución del suelo excede a la cantidad que es removida por el agua de riego en su movimiento a través del perfil del suelo presentándose problemas los cuales pueden variar en clase y magnitud dependiendo de la concentración y el tipo de sales

disueltas, ya que los suelos y las plantas reaccionan de manera diferente a diferentes sales.

En la práctica el clima, las condiciones físicas de los suelos, la mineralogía de las arcillas, el tipo de agricultura predominante, el cultivo a sembrar y las características particulares de cada caso son los parámetros que van a determinar en qué forma la acumulación de sales puede restringir la producción de los cultivos. Por estas razones, se considera que los criterios a usar para clasificar el agua de riego no pueden ser rígidos y se deben basar en las condiciones propias de cada caso. Los problemas más comunes resultantes del uso del agua para riego se relacionan con salinidad, alcalinidad, infiltración del agua en el suelo, toxicidad de iones presentes en ella, combinaciones de los anteriores y efectos causados por sólidos en suspensión, metales pesados, corrosividad, etc.

Los parámetros a utilizar para la predicción del efecto potencial del agua, para crear condiciones en el suelo que puedan afectar el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos y que hagan necesario restringir su uso o la adopción de técnicas de riego especiales para mantener producciones aceptables, están por consiguientes relacionados con las siguientes condiciones:

- 1.- El tipo y concentración de las sales solubles las cuales, en el suelo o en el agua, reducen la disponibilidad de ésta para las plantas afectando los rendimientos.
- 2.- La concentración relativa de sodio (Na^+) y, en ocasiones de magnesio (Mg^{2+}) con respecto a otros cationes. Cuando el contenido de calcio (Ca) es bajo, el Na y Mg reducen la velocidad de infiltración del agua en el suelo al causar dispersión de las partículas finas de arcilla, las cuales ocluyen macro y micro poros trayendo como consecuencia un bajo suministro de agua disponible para las plantas.
- 3.- Algunos iones como Na^+ , Mg^{2+} , cloro (Cl^-), sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), y elementos traza provenientes del agua de riego o presentes en el suelo, se pueden acumular y llegar a concentraciones que afectan los cultivos dependiendo del grado de tolerancia de los mismos a un ion dado.
- 4.- Efectos misceláneos: Dentro de este grupo se incluyen combinaciones de los casos anteriores, desbalances nutricionales ocasionados por excesos de

determinados iones que traen como consecuencia reducciones en la cantidad y/o en la calidad de las cosechas, corrosión o deposición en equipos de riego y oclusión de tubería enterrada de drenaje, o de sólidos en suspensión que pueden hacer que el agua no sea apta para consumo humano o animal.

5.- Alcalinidad debida a la presencia de iones como bicarbonatos, calcio, magnesio y sodio.

Jiménez Cotillas (2002) destaca como elementos adicionales e importantes, que la calidad del agua de riego se define en función de tres criterios principales: salinidad, sodicidad y toxicidad.

El criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales en el suelo, con el correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimientos de los cultivos.

El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que se induzca en el suelo un elevado PSI (porcentaje de sodio intercambiable), con deterioro de su estructura.

El criterio de toxicidad estudia los problemas que pueden crear determinados iones.

Además de estos tres criterios principales, el autor añade que en la calidad del agua de riego intervienen otros factores tales como: exceso de nitrógeno, pH, y contenido de magnesio.

El verdadero riesgo del agua de riego según el autor radica en el riesgo potencial del uso del agua, es decir, la mayoría de las aguas consideradas peligrosas tienen un contenido de sales que en sí mismo no son demasiado perjudiciales, el problema se presenta cuando esas aguas evolucionan en el suelo ya que la evapotranspiración disminuye la humedad del suelo pero no elimina las sales, de forma que la solución del suelo se hace más salina a medida que el suelo se seca. Por tanto, un agua que inicialmente tenga una concentración salina aceptable puede alcanzar valores elevados. Pero además se presentan otro tipo de fenómenos, al concentrarse las sales, algunas de ellas pueden alcanzar su límite de solubilización y precipitar, retirando de la solución del suelo determinados cationes y alterando las proporciones iniciales. Esto puede ocurrir con las sales de calcio de baja solubilidad, lo que tiene

como consecuencia un aumento de la proporción de sodio en el agua del suelo y del PSI del mismo

Basados en los principios establecidos anteriormente, los países adoptan criterios para el establecimiento de normas para las aguas de riego.

La Norma Chilena Oficial NCh1333.Of78, modificada en 1987, define que los requisitos para la calidad del agua para el riego se basan en los siguientes requisitos químicos:

- 1.- pH. El agua para riego debe tener un pH comprendido entre 5,5 y 9,0
- 2.- Elementos químicos. Reporta valores máximos permisibles de algunos elementos químicos en agua de riego
- 3.- Razón de adsorción de sodio (RAS).
- 4.- Conductividad específica y sólidos disueltos totales exponiendo que:
 - a.- Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales:
 ≤ 750 mhos/cm a 25°C
 - b.- Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles:
750 - 1 500 mhos/cm a 25°C
 - c.- Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos: 1 500 - 3 000 mhos/cm a 25°C
 - d.- Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos: 3 000 - 7 500 mhos/cm a 25°C

En Cuba, la norma que rige la calidad del agua de riego es la NC XXX: 2011 donde destacan los requisitos sanitarios, físicos, químicos y de suelos.

Esta Norma Cubana establece las directrices para la valoración de la calidad del agua para riego de los cultivos agrícolas y forestales por los subtipos particulares de suelos.

Los documentos que se mencionan seguidamente son indispensables para la aplicación de esta Norma Cubana. Para las referencias fechadas, sólo se toma en

consideración la edición citada. Para las no fechadas, se toma en cuenta la última edición del documento de referencia (incluyendo todas las enmiendas).

NC 776:2010. Calidad del suelo. Evaluación de la salinidad.

NC 827: 2010. Agua potable. Requisitos sanitarios.

A los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

Aguas aptas para el riego.

Las aguas con categoría de evaluación de Calidad I, II y III, que pueden o no tener exigencias para su utilización en el riego de los cultivos agrícolas y forestales.

Aguas con restricciones.

Las que pueden utilizarse para el riego, si son efectuadas medidas particulares de manejo en los suelos o de mejoramiento de las aguas, que posibilitan su uso y contrarrestan problemas de drenaje o aparición de salinización y/ o sodicidad en los suelos (NC 776:2010).

Aguas sin restricciones.

Son aquellas que no presentan limitaciones de uso para el riego, por lo que su utilización no requiere de ningún acondicionamiento. Coincide con las de la Categoría I o Superior, también denominadas Adecuadas.

Aguas con ligeras o moderadas restricciones para el riego.

Las que necesitan que, para su aplicación en los suelos, éstos requieran de labores agro técnicas o medidas de mejoramiento específicas a sus propiedades que permitan contrarrestar el efecto degradativo acumulativo del uso de dichas aguas. Armonizan con las de Categoría II.

Aguas con fuertes restricciones para el riego

Son las aguas que para su utilización requieren de medidas de mejoramiento de su composición o ser utilizadas en mezclas con otras fuentes de agua de mejor calidad. Se ajustan a las aguas evaluadas de categoría III.

Aguas inadecuadas para el riego.

Las aguas sin calidad para el riego en el momento de la evaluación de la fuente. De no tenerse garantizado otra cercana que garantice la mezcla de agua para su uso en el suelo y las medidas requeridas de protección del mismo, se cerrará dicha fuente.

Requisitos sanitarios.

El agua considerada apta para su utilización en el riego de cultivos con destino a la alimentación debe cumplir los requisitos microbiológicos del agua potable para las concentraciones de *Escherichia coli* y coliformes termo tolerantes (NC 827:2010) según se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Concentraciones de *Escherichia coli* y Coliformes termo tolerantes admisibles según las técnicas empleadas para su determinación.

Parámetro	Técnica		
	Tubos múltiples de fermentación	Filtración por membrana	Ausencia/ Presencia
Escherichia coli	< 2 NMP.100 mL ⁻¹	0 UFC.100 mL ⁻¹	Ausencia / 100 mL
Coliformes termo tolerantes	< 2 NMP.100 mL ⁻¹	0 UFC.100 mL ⁻¹	Ausencia / 100 mL

Requisitos físicos

Por observación a simple vista debe ser:

Una sustancia líquida, transparente e inodora

Con ausencia de elementos sólidos groseros

Carente de presencia de otros líquidos como aceites, combustible, etc

Concentraciones máximas permisibles de metales tóxicos en agua de riego (mg.L⁻¹).

Aluminio (Al)	Arsénico (As)	Berilio (Be)	Cadmio (Cd)	Cobalto (Co)
5,00	0,10	0,10	0,01	0,05
Cromo (Cr)	Cobre (Cu)	Fluor (F)	Hierro (Fe)	Litio (Li)
0,10	0,20	1,0	5,0	2,5
Manganeso (Mn)	Molibdeno (Mo)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)
0,20	0,01	20,00	5,00	0,02
Vanadio (V)	Zinc (Zn)			
0,10	2,00			

Categorías de evaluación.

La evaluación de la calidad del agua adecuada para el riego de cultivos agrícolas y forestales, se regirá mediante la valoración de los indicadores de requisitos técnicos de su composición que determinará la clasificación y posibilidades de uso de la misma en tres categorías: Superior (Calidad I), Primera (Calidad II) y Segunda (Calidad III).

Los indicadores a evaluar serán: Conductividad eléctrica (CE), Sales solubles disueltas (SSD), RAS ajustado, salinidad efectiva, concentración de Na^{+1} , concentración de Cl^{-1} , concentración de B, concentración de carbonatos residuales y porcentaje de Mg^{2+} . De no haber coincidencia en la valoración particular de todos los indicadores, la estimación general de la calidad del agua la decidirá la evaluación de la Conductividad eléctrica (CE). La calidad del agua está en dependencia de los sub tipos de suelos a ser regados, que acorde a las propiedades de éstos fueron categorizados en 9 agrupaciones expuestas en la tabla 4.

Tabla 4. Relación de agrupaciones de Subtipos de suelos para evaluar la calidad del agua de riego.

Agrupación.	I	II	III
Subtipos de Suelos	- Arenoso cuarcítico	- Gley amarillento cuarcítico - Gley húmico - Gley ferralítico - Gley amarillento	- Ferrífico purpura típico - Ferralítico rojo típico
Agrupación.	IV	V	VI
Subtipos de Suelos	- Ferralítico rojo compactado - Ferralítico amarillento - Ferralítico rojo lixiviado - Ferralítico cuarcítico amarillo lixiviado - Ferralítico cuarcítico amarillo rojizo lixiviado	- Pardo sin carbonatos	- Fersialítico rojo parduzco ferromagnésial
Agrupación.	VII	VIII	IX
Subtipos de Suelos	- Pardo con diferenciación de carbonatos - Pardo grisáceo - Húmico carbonático	- Fersialítico pardo rojizo - Rendzina roja	- Oscuro plástico típico - Oscuro plástico gleyzado - Oscuro plástico no gleyzado

Rangos de evaluación de la calidad del agua

Los rangos de evaluación de los indicadores químicos que determinan la Calidad I (Superior) del agua aparecen en la tabla 5.

Tabla 5. Rangos de los indicadores de la Calidad I del agua de riego por agrupaciones de Sub tipos de suelos

Agrupaciones		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Conductividad eléctrica dS. m ⁻¹		<0,62	<0,56	<0,70	<0,70	<0,62	<0,62	<0,62	<0,70	<0,56
Sales solubles disueltas (mg.L ⁻¹)		<400	<360	<500	<450	<400	<400	<400	<450	<360
RAS ajustada (mmol.L ^{-0.5})		<8	<8	<16	<16	<6	<6	<8	<8	<6
Salinidad efectiva (mmol.L ⁻¹)		<7	<3	<7	<7	<7	<5	<5	<7	<3
Na ⁺ (mmol.L ⁻¹) Riego por el suelo		<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Na ⁺ (mmol. L ⁻¹) Riego por aspersión		<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
CL ⁻ (mmol.L ⁻¹)* Riego por el suelo	S	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	ST	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	T	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
CL ⁻ (mmol.L ⁻¹)* Riego por aspersión	S	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	ST	<2	<2 <3	<2	<2	<2	<2	<2	<2 <3	<2
	T	<3		<3	<3	<3	<3	<3		<3
Boro (mg. L ⁻¹)* Riego por el suelo	S	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
	ST	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	T	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
Mg ⁺² (% de las sales disueltas)		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Carbonatos residuales (mmol. L ⁻¹)		<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25
NOTA 1 * significa que varía según la sensibilidad del cultivo										
NOTA 2 S significa que es para cultivos sensibles										
NOTA 3 ST significa que es para cultivos semi – tolerantes										
NOTA 4 T significa que es para cultivos tolerantes										

Los rangos de evaluación de los indicadores químicos que determinan la Calidad II (primera) del agua de riego aparecen en la Tabla 6.

Tabla 6. Rangos de los indicadores de la Calidad II del agua de riego por agrupaciones de Sub tipos de suelos.

Agrupaciones		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Conductividad eléctrica dS. m ⁻¹		0,62 a 1,33	0,56 a 1,09	0,70 a 1,80	0,70 a 1,56	0,62 a 1,33	0,62 a 1,33	0,62 a 1,33	0,70 a 1,56	0,56 a 1,10	
Sales solubles disueltas (mg.L ⁻¹)		400 a 750	360 a 700	500 a 1150	450 a 1000	400 a 850	400 a 850	400 a 850	450 a 1000	360 a 700	
RAS ajustada (mmol.L ^{-0.5})		8 a 11	8 a 11	16 a 20	16 a 20	6 a 8	6 a 8	8 a 11	8 a 11	6 a 8	
Salinidad efectiva (mmol.L ⁻¹)		7 a 10	3 a 4	7 a 10	7 a 10	7 a 10	5 a 7	5 a 7	7 a 10	3 a 4	
Na ⁺ (mmol.L ⁻¹) Riego por el suelo		3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	
Na ⁺ (mmol. L ⁻¹) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	
CL ⁻ (mmol.L ⁻¹) Riego por el suelo	S	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	2 a 5	
	ST	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	3 a 6	
	T	4 a 7	4 a 7	4 a 7	4 a 7	4 a 7	4 a 7	4 a 7	4 a 7	4 a 7	
CL ⁻ (mmol.L ⁻¹) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	
Boro (mg, L ⁻¹) *	S	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	0,3 a 0,9	
	ST	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a				
	T	1,2 0,7 a 1,4	1,2 0,7 a 1,4	1,2 0,7 a 1,4	1,2 0,7 a 1,4	1,2 0,7 a 1,4	1,2 0,7 a 1,4	1,2 0,7 a 1,4	0,5 a 1,2 1,2	0,5 a 1,2 1,2	
								0,7a1,4	0,7 a 1,4	0,7 a 1,4	
Mg ⁺² (% de las sales disueltas)		50 a 60	50 a 60	50 a 75	50 a 75	50 a 60	40 a 50	50 a 60	50 a 60	40 a 50	
Carbonatos residuales (mmol, L ⁻¹)		1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	1,25 a 1,87	
NOTA 1	*	significa que varía según la sensibilidad del cultivo									
NOTA 2	S	significa que es para cultivos sensibles									
NOTA 3	ST	significa que es para cultivos semi – tolerantes									
NOTA 4	T	significa que es para cultivos tolerantes									

Los rangos de evaluación de los indicadores químicos que determinan la Calidad III (segunda) del agua de riego aparecen en la tabla 7.

Tabla 7. Rangos de los indicadores de la Calidad III del agua de riego por agrupaciones de Sub tipos de suelos.

Agrupaciones		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Conductividad eléctrica dS. m ⁻¹		1,33 a 2,00	1,09 a 1,60	1,80 a 3,00	1,56 a 2,50	1,33 a 2,00	1,33 a 2,00	133 a 2,00	1,56 a 3,00	1,10 a 1,60
Sales solubles disueltas (mg.L ⁻¹)		850 a 1300	700 a 1000	1150 a 1900	1000 a 1700	850 a 1300	850 a 1300	850 a 1300	1000 a 1900	700 a 1000
RAS ajustada (mmol.L ^{-0.5})		11 a 16	11 a 16	20 a 24	20 a 24	8 a 9	8 a 9	11 a 16	11 a 16	8 a 9
Salinidad efectiva (mmol.L ⁻¹)		10 a 15	4 a 5	10 a 15	10 a 15	10 a 15	7a10	7 a 10,	10 a 15	4 a 5
Na ⁺ (mmol.L ⁻¹) Riego por el suelo		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Na ⁺ (mmol. L ⁻¹) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
CL ⁻ (mmol.L ⁻¹) Riego por el suelo*	S	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a10	5 a10	5 a10	5 a10
	ST	6 a 10	6 a 10	6 a 10	6 a 10	6 a 10	6 a10	6 a10	6 a10	6 a10
	T	7 a 10	7 a 10	7 a 10	7 a 10	7 a 10	7 a 10	7 a 10	7 a 10	7 a 10
CL ⁻ (mmol.L ⁻¹) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
Boro (mg. L ⁻¹) *	S	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6	0,9 a 1,6
	ST	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8	1,2 α 1,8
	T	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0	1,4 a 2,0
Mg ⁺² (% de las sales disueltas)		> 60	> 60	> 75	> 75	> 60	> 50	> 60	> 60	> 50
Carbonatos residuales mmol,l-1		1,87 a 2,50	1,87 a 2,50	1,87 a 2,50	1,87 a 2,50	1,87 a 2,50	1,87 a 2,50	1,87 a 2,50	1,87 a 2,50	1,87 a 2,50
Nota 1 * Significa que varía según la sensibilidad dl cultivo										
Nota 2 S Significa que es para cultivos sensibles										
Nota 3 S T significa que es para cultivos semi tolerantes										
Nota 4 T Significa que es para cultivos tolerantes										

3.- MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Localización del experimento.

El trabajo se desarrolló en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”, municipio Jagüey Grande, provincia de Matanzas, que se localiza entre los 22°41’55,73N - 22°30’46,77 de latitud norte y los 80°42’53,61W - 81°51’23,44 de longitud oeste, a una altitud entre los 3 y 25 msnm. Esta región se ubica en el grupo II según la clasificación edafoclimática de las áreas citrícolas de Cuba (Lima *et al.*, 1988).

3.2. Selección de los pozos representativos para las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4.

Se seleccionaron tres pozos en las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4 conformando dos transversas (tabla 8).

Tabla 8. Pozos para perfiles representativos de las cuencas mencionadas.

Siglas	Nombre	Cuenca	Coord. X	Coord. Y	Cota	Prof. (m)
26 (150)	El Gallo	M-III-4	488050	304150	14,3	36,61
151	Polic. Jagüey	M-III-4	485950	298900	9,93	69
153	Pío Cuac	M-III-4	485550	295150	5,24	23,5
119	Cantabria	M-III-3	467220	304500	2,08	19,24
3 (120)	La América	M-III-3	478600	308000	7,24	39,72
3209	Cala Trinchera	M-III-3	479036	304513	7,45	20

3.3. Análisis químicos de los pozos seleccionados.

De los pozos seleccionados se recopilaron los datos batométricos proporcionados por Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) de los últimos seis años, (2011- 2016) que permitieron caracterizar las propiedades químicas de las aguas, los análisis se realizaron en el laboratorio de ENAST del municipio de Colón, Matanzas, según los métodos y técnicas reportadas en las Normas Cubanas establecidas al efecto. Los criterios de evaluación para los diferentes parámetros químicos analizados según la NC XXX: 2011 se relacionan a continuación:

- Determinación del pH. Método potenciométrico.
- Determinación de las SST. Método de la Dilución.

- Determinación de la Conductividad Eléctrica. Método conductímetro.
- Determinaciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Método del espectrofotómetro de emisión.
- Determinación del Cl^- . Método de Mohr.

La intrusión salina fue calculada a través de la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Cl}^-}{\text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_3\text{H}^-}$$

Para evaluar el agua mediante la intrusión salina, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- 0,00 – 0,50.....Buena.
- 0,51 - 1,30.....Ligeramente Contaminada.
- 1,31 - 2,80... Moderadamente Contaminada
- 2.81- 6,60... Peligrosamente Contaminada
- 6,61- 15,50.....Altamente Contaminada
- 15,51.....Agua de mar.

3.4. Análisis de la batimetría mensual durante los años 2000 al 2016 en los pozos seleccionados.

De las cuencas en estudio se recopilaron los datos batométricos proporcionados por Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) del 2000 al 2015 para conocer las fluctuaciones en profundidad de cada una de las cuencas hidrográficas se realizó una medición mensual en el periodo analizado. La batimetría fue realizada mediante la sonda batométrica que permite determinar la profundidad de la cuenca hidrográfica, así como tomar muestras a diferentes profundidades.

3.5. Determinación de los volúmenes de agua autorizados a extraer por el INRH en las áreas Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Para determinar los volúmenes de agua autorizados a extraer por concepto de riego en las áreas Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” de las cuencas hidrográficas en estudio, se recopilaron los datos del periodo comprendido del 2000 al 2015, aportados en el modelo de extracciones 131-102 de la Oficina Nacional de Estadística y por informes emitidos por Empresa de Aprovechamiento Hidráulico.

3.6. Determinación de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016.

En la estación meteorológica de Jagüey Grande se recopilaron los datos de las precipitaciones mensuales durante los años 1972-2016.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Análisis químicos de los pozos seleccionados.

Los resultados de los análisis químicos del agua realizados en los seis pozos de las transversas que comienzan en el límite sur de ambas cuencas y avanzan tierra adentro, ocupando cotas cada vez mayores, con el fin de detectar la posible entrada de la cuña salina, se ilustran en las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

Tabla 9. Propiedades químicas. Pozo 26 (150). Cuenca M-III-4.

Fecha	Profundidad (m)	pH	Conductividad Eléctrica	SST	Intrusión Salina	Cl ¹⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
				(mg/L)				
29/04/2011	10	7,88	627	445	0,08	17	79	39
	25	7,88	637	452	0,09	21	69	24
	38	7,88	637	452	0,07	21	82	31
12/04/2012	12	7,97	528	352	0,08	24	73	23
	15	8,16	580	475	0,08	24	69	32
	25	7,67	578	555	0,08	27	73	32
	35	8,05	530	458	0,09	29	61	28
26/04/2013	12	7,92	515	352	0,08	24	73	23
	15	8,12	568	475	0,08	24	69	32
	25	7,67	579	555	0,08	27	73	32
	50	7,7	846	712	0,14	50	78	35
30/04/2014	8,33	7,92	294	478	0,14	42	73	23
	20	8,12	310	456	0,17	49	69	32
27/04/2015	12	7,19	592	379	0,2	22	75	14
	15	7,29	593	379	0,2	25	83	26

Tabla 10. Propiedades químicas. Pozo 151. Cuenca M-III-4.

Fecha	Profundidad (m)	pH	Conductividad Eléctrica	SST	Intrusión Salina	Cl ¹⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
				(mg/L)				
29/04/2011	10		702	498	0,17	40	76	29
	20		733	520	0,19	42	68	30
	30		733	520	0,2	42	74	32
	40		733	520	0,18	42	69	30
12/04/2012	10	7,46	702	561	0,16	58	77	30
	20	7,92	608	507	0,11	29	77	28
	30	7,34	707	562	0,17	58	81	25
	40	7,38	760	610	0,24	76	81	30
	60	7,27	760	594	0,86	68	81	30
20/04/2013	10	7,46	700	555	0,15	58	75	33
	20	7,92	590	510	0,11	29	75	30
	30	7,34	710	570	0,17	58	80	27
	40	7,38	780	620	0,25	76	80	32
15/04/2014	10	7,21	630	430	0,15	45	73	29
	20	7,3	680	440	0,16	49	74	30
	30	7,3	721	468	0,17	52	76	28
	40	7,39	875	650	0,23	70	78	27
27/04/2015	50	7,41	925	990	0,24	73	79	30
	10	7,21	695	445	0,3	70	90	22
	15	7,3	694	444	0,3	65	82	33
	50	7,3	694	444	0,3	35	74	42
	60	7,39	709	454	0,3	80	90	28
	70	7,41	1682	1077	0,8	60	86	33

Tabla 11. Propiedades químicas. Pozo 153. Cuenca M-III-4.

Fecha	Profundidad (m)	pH	Conductividad Eléctrica	SST	Intrusión Salina	Cl ¹⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
				(mg/L)				
29/04/2011	8	8,21	1494	1061	0,4	265	84	34
	15	7,31	1543	1096	0,33	272	86	40
	20	7,42	1700	1207	0,41	296	79	29
11/04/2012	7	8,18	994	829	0,32	176	84	28
	15	7,29	1042	786	0,4	176	88	32
	20	7,49	1048	800	0,34	181	88	32
	25	8,06	1099	822	0,4	203	84	37
27/04/2013	7	8,09	864	613	0,4	83	84	28
	15	7,28	931	661	0,33	86	88	32
	20	7,5	1037	736	0,3	129	88	32
	35	8,1	3907	2774	0,4	1311	84	37

Tabla 12. Propiedades químicas. Pozo 119. Cuenca M-III-3.

Fecha	Profundidad (m)	pH	Conductividad Eléctrica	SST	Intrusión Salina	Cl ¹⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
				(mg/L)				
12/04/2012	5	7,36	754	591	0,28	88	88	18
	10	7,32	849	649	0,34	112	88	23
	15	7,75	807	588	0,34	103	84	21
	20	7,65	807	589	0,35	107	84	23
25/04/2013	5	7,4	759	523	0,3	80	82	24
	10	7,31	804	555	0,3	65	96	27
	15	7,45	815	590	0,3	65	84	37
	20	7,4	903	621	0,4	65	98	29
15/04/2014	5	7,34	824	526	0,3	46	92	16
	10	7,44	876	561	0,4	53	92	22
	15	7,06	877	561	0,4	53	96	22
	20	7,04	881	564	4	99	96	25
27/04/2015	5	7,14	767	483	0,3	45	90	30
	10	7,27	672	430	0,3	50	94	19
	15	7,29	670	429	0,3	50	102	14
	20	7,31	675	430	0,3	55	90	16

Tabla 13. Propiedades químicas. Pozo 3 (120). Cuenca M-III-3.

Fecha	Profundidad (m)	pH	Conductividad Eléctrica	SST	Intrusión Salina	Cl ¹⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
				(mg/L)				
28/04/2011	19	7,3	1034	734	0,3	114	79	29
	30	7,5	1082	768	0,36	116	68	27
	40	7,7	1082	768	0,32	120	84	23
12/04/2012	10	7,39	919	750	0,32	117	83	25
	15	7,09	919	750	0,35	117	77	37
25/04/2013	15	7,05	918	633	0,4	96	73	25
	30	7,43	947	740	0,4	115	79	31
	35	7,5	1160	780	0,48	128	91	36
	40	7,6	1918	1324	1	165	91	40
15/04/2014	15	7,25	735	471	0,3	55	100	23
	30	7,58	925	587	0,4	132	83	26
	35	7,59	933	594	0,4	140	83	26
25/04/2015	5	7,22	718	460	0,3	65	81	32
	15	7,31	917	589	0,4	106	87	36
	25	7,42	928	593	0,4	106	87	38

Tabla 14. Propiedades químicas. Pozo 3209. Cuenca M-III-3.

Fecha	Profundidad (m)	pH	Conductividad Eléctrica	SST	Intrusión Salina	Cl ¹⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)
				(mg/L)				
25/04/2011	5	7,24	950	745	0,3	100	90	33
16/04/2012	5	7,25	1000	760	0,37	142	104	32
22/04/2013	5	7,25	927	526	0,3	94,9	94,7	33,6
16/04/2014	5	7,81	1068	737	0,45	260	107	35
12/11/2014	5	7,49	1040	788	0,39	211	96	36
16/04/2015	5	8,95	979	675	0,4	148	40	43
20/04/2016	15	8,11	1000	740	0,4	165	48	29

La intrusión salina alcanzó valores inferiores a 0,5 en los años en estudio, lo que caracteriza al agua como buena, por lo que se descarta en este periodo la existencia de intrusión salina por no presentarse condiciones tal como lo expresan (Graniel *et al.*, 2004 y Lección 23, 2010).

Las cuencas estudiadas (figura 1), comienzan prácticamente en el centro de la provincia y se extiende hacia la costa sur, atravesando áreas agrícolas muy importantes como la Empresa “Vladimir Ilich” Lenin.

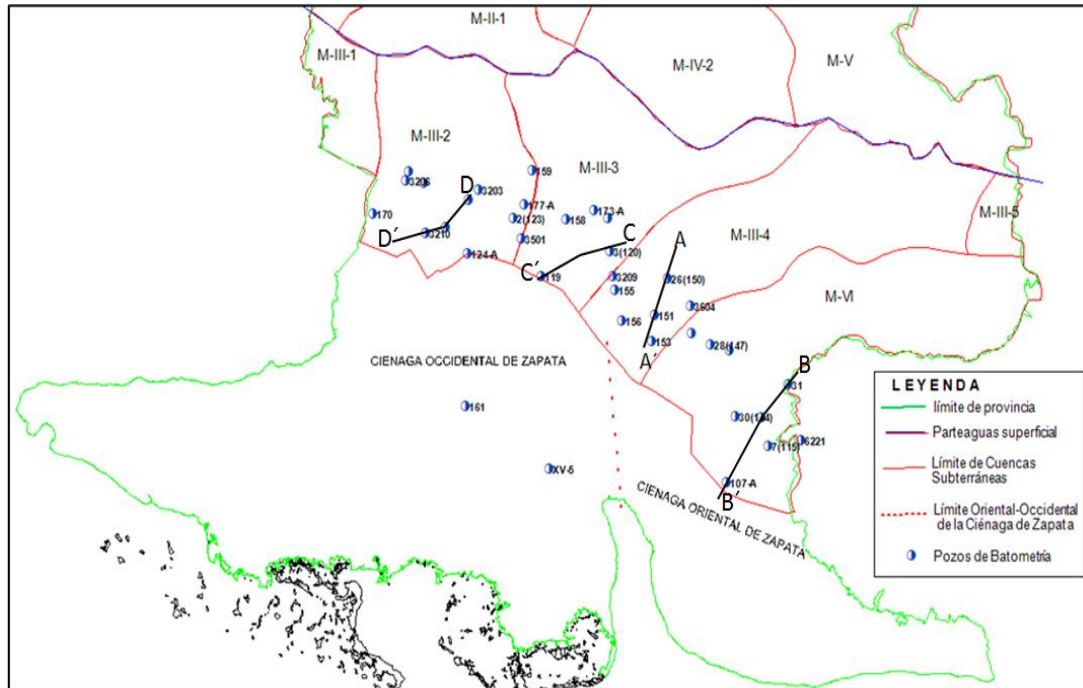


Figura 1. Cuencas estudiadas.

En cuanto a los parámetros conductividad eléctrica, SST, contenidos de Cl^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} y pH para ambas cuencas al ser evaluados por la NC XXX: 2011 sus aguas quedan ubicadas en las categorías de calidad I, II y III lo cual implica que sean aptas para el riego, sin embargo, al estudiar la transversa de la cuenca M-III-3 observamos que los niveles mayores estudiados se obtienen tierra adentro y específicamente en la zona de Torriente, lo cual es coincidente con lo obtenido por (Díaz *et al.*, 2017) al evaluar la calidad de las aguas de riego en las áreas agrícolas de la Empresa quienes fundamentaron tal comportamiento en criterios de especialistas del INRH que afirman la existencia en esa zona de condiciones para la ocurrencia de una salinización primaria como reportan (Badia, 1999; Otero *et al.*, 2007 y Mata *et al.*, 2014). Respecto a la cuenca M-III-4 los resultados analíticos muestran un comportamiento lógico ya que disminuyen sus valores como tendencia tierra adentro.

4.2. Análisis de la batimetría mensual durante los años 2000 al 2016 en los pozos seleccionados.

La batimetría mensual durante los años 2000 al 2016 para cada una de las cuencas en estudio se presenta en las tablas 15 y 16, donde se reportan las profundidades para cada una de las cuencas, también se muestran los niveles máximos, de alerta, de alarma y el nivel crítico que reporta (EAH, 2017). En cuanto al comportamiento de las cuencas, la M-III-3 en todo el periodo nunca arribó al nivel de alerta y de la misma manera, tampoco alcanzó el nivel máximo. En cuanto a la cuenca M-III-4, la situación se reporta diferente, ya que se observa que en siete meses se rebasó el nivel de alerta y los años 2011, 2014 y 2015 se comportaron con niveles muy cercanos a este nivel, coincidiendo con años de precipitaciones muy por debajo de la media histórica (1 369,89, 1 432,60 y 1 466,50 mm respectivamente). Ambas cuencas difieren también en los valores de sus niveles sobre todo el nivel máximo donde la diferencia entre la M-III-4 y la M-III-3 es de 2,97 m y donde la primera ha estado más cerca durante más tiempo del nivel máximo.

Tabla 15. Batimetría Cuenca M-III-3.

Meses	Años															
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
E	10,57	11,16	9,84	9,22	9,88	12,31	9,75	11,82	11,47	9,55	11,33	11,22	12,2	9,71	10,21	13,87
F	10,93	11,1	10,32	9,33	10,3	12,23	10,23	12,02	11,75	10,2	11,44	11,84	12,63	10,04	10,72	14,07
M	11,31	11,35	10,52	10,02	11,46	12,26	10,94	12,47	11,87	10,41	11,5	12,56	13,12	10,24	11,21	14,16
A	11,45	12,3	10,97	10,29	11,84	12,55	11,24	12,57	12,25	10,94	11,82	11,96	12,35	10,3	11,52	14,29
M	11,12	12,56	10,07	10,22	12,45	12,59	11,47	12,61	12,54	11,08	11,85	11,98	11,47	10,4	13,75	14,3
J	11,12	12,13	9,93	9,94	11,99	12,46	11,24	12,5	12,39	11,08	11,52	11,84	10,86	10,35	13,44	14,37
J	11,15	11,76	10,02	9,7	11,71	11,32	11,38	12,43	12,49	10	11,32	11,42	10,34	10,29	13,93	14,25
A	11,17	12,12	10,04	9,68	11,34	10,99	11,55	12,37	12,2	10	10,61	11,42	9,93	9,87	12,89	14,25
S	10,86	11,02	9,2	10	11,91	11,2	11,07	11,95	8,78	9,77	10,65	11,06	9,27	9,66	12,7	13,79
O	10,26	10,63	8,05	9,29	12,03	9,28	11,25	11,32	8,84	10,67	10,55	10,74	9,39	9,48	13,39	13,89
N	10,68	8,84	8,7	9,61	12,22	9,5	11,48	11,38	8,88	10,62	10,95	11,33	9,16	9,54	13,41	14,04
D	10,83	9,36	8,85	9,74	12,34	9,28	11,66	11,54	9,19	10,93	11,02	11,47	9,4	9,74	13,47	13,48
Nivel máximo	8,05 m															
Nivel de alerta	16,8 m															
Nivel de alarma	17,96 m															
Nivel Crítico	19,12 m															

Nota : En esta cuenca no existe nivel critico

Tabla 16. Batometría Cuenca M-III-4.

Meses	Años																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E	6,1	8,7	7,8	6,9	8,2	10,6	7,7	9,9	8,3	5,9	9,2	9,8	10,5	7,4	8,9	9,7	10,4
F	7	9,2	8,6	7,7	8,8	11,1	8,2	10,2	9,1	7,1	9,1	10,3	11,1	8,4	9,3	9,9	10,6
M	8,1	9,6	9,4	8,4	9,1	10,8	8,9	10,8	9,3	7,4	9,3	10,7	11,5	7,6	9,7	10,6	10,8
A	7,9	10,2	9,8	8,9	10,3	10,9	9,4	11	9,7	8,6	10,2	11,4	11	8	10,1	10,6	11,1
M	8,7	10,4	9,2	8,3	10,4	10,9	7,8	11,2	10,1	9	10	11,5	9,6	8,2	11,2	10,3	11,1
J	8,8	10,3	7,4	7,1	9,6	10,9	7,3	10	9,6	9	10,1	10,8	8,6	8,1	10,9	10,5	10,2
J	8,6	10	6,5	6,7	8,9	8,8	9,1	9,8	9,5	6,8	9,7	10,5	8,1	7,8	10,5	10,5	10,1
A	8,8	8,8	6,1	6,7	8,8	8,2	9,4	9,2	8,7	6,9	8,3	10,5	8,7	7,7	9,9	10,4	10,1
S	7,8	8,7	5,5	6,4	8,6	6,7	8,5	8,7	5,2	6,4	7,7	10,4	8,3	7,6	9,4	9,7	8,2
O	7,6	8,4	5,6	6,4	8,7	6	8,7	6,9	5,3	7,8	7,2	10,1	7,4	7,6	8,7	9,6	8,1
N	7,8	6,7	5,9	6,8	9,1	6,5	9,2	7,3	5,2	8,4	8,2	8,6	7,4	7,9	8,6	10,3	8,2
D	7,9	7,4	6,1	7,6	9,7	7	9,6	7,8	5,7	8,8	8,8	10,1	7,4	8,5	9,1	10,1	8,4
Nivel máximo	5,08 m.																
Nivel de alerta	11,14 m.																
Nivel de alarma	12,18 m.																
Nivel Crítico	13,23 m.																

4.3. Determinación de los volúmenes de agua autorizados a extraer por el INRH en las áreas Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Las tablas 17, 18, 19, 20 y 21 relacionan los valores de las precipitaciones (aporte a la cuenca), volúmenes de agua autorizados por INRH para el riego y los realmente extraídos (extracciones de la cuenca) y la batometría del 2012 al 2016. Los resultados obtenidos son similares a la relación establecida anteriormente entre la batometría y las precipitaciones para la cuenca M-III.4, donde en este caso observamos además que en estos meses ya reportados las extracciones fueron superiores a lo autorizado a extraer. Los meses de baja precipitación del año 2012, los meses comprendidos entre mayo y septiembre por mayores extracciones a las autorizadas y en los meses entre junio y diciembre de los años 2015 y 2016 por mayores extracciones coinciden con lo expuesto. Esto resultados son avalados por GAT (2007) que explica que el bombeo exagerado y lluvias escasas contribuyen a la afectación de las cuencas en cuanto a sus volúmenes, así como también con Lección 23 (2010) al analizar las peculiaridades de los acuíferos cercanos al mar.

Tabla 17. Precipitaciones, demandas, extracciones y batometría 2012.

Variables		2012											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)		34,30	118,20	60,80	179,90	301,30	293,40	202,00	148,19	186,65	187,1	0,00	8,00
Cuenca III-3	Plan Extrac.	92,83	81,60	84,41	92,83	67,56	53,52	37,51	37,51	37,51	45,09	45,09	45,37
	Dato s/Extrac.	64,34	62,13	74,03	58,77	98,41	25,44	31,37	19,95	19,79	12,59	33,58	12,18
	Batometría (m3)	12,20	12,63	13,12	12,35	11,47	10,86	10,34	9,93	9,27	9,39	9,16	9,40
Cuenca III-4	Plan Extrac.	122,56	102,18	107,28	122,56	76,71	51,24	22,20	22,20	22,20	35,95	35,95	36,96
	Dato s/Extrac.	95,88	23,51	46,53	21,91	64,56	18,61	20,68	25,03	15,15	23,00	50,85	69,83
	Batometría (m3)	10,46	11,09	11,50	11,02	9,55	8,61	8,13	8,65	8,27	7,40	7,38	7,35
	C. III-3	C. III-4	Los datos de las Extracciones es en miles de metros cubicos										
Nivel Máximo	8,05 m	5,08 m											
Nivel de alerta	16,80 m	11,14 m											
Nivel de alarma	17,96 m	12,18 m											
Nivel Crítico	19,12 m	13,23 m											

Tabla 18. Precipitaciones, demandas, extracciones y batometría 2013.

Variables		2013											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)		8,70	21,70	22,10	79,60	285,40	228,90	311,20	182,1	221,3	85,5	24,50	6,00
Cuenca III-3	Plan Extrac.	92,83	81,6	84,41	92,83	67,56	53,52	37,51	37,51	37,51	45,09	45,09	45,37
	Datos/Extrac.	51,34	65,05	37,56	23,45	99,29	40,57	36,73	35,22	35,08	08,52	13,60	14,52
	Batometría (m3)	9,71	10,04	10,24	07,12	09,36	10,35	06,57	9,87	9,66	9,48	9,54	9,74
Cuenca III-4	Plan Extrac.	122,56	102,18	107,28	122,56	76,71	51,24	22,20	22,20	22,20	35,95	35,95	36,96
	Datos/Extrac.	10,48	18,08	21,6	27,24	25,2	10,17	11,64	18,15	12,42	30,14	35,41	55,15
	Batometría (m3)	7,36	8,4	7,56	8,02	8,22	8,05	7,78	7,73	7,63	7,61	7,87	8,45

Tabla 19. Precipitaciones, demandas, extracciones y batometría 2014.

Variables		2014											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)		7,00	52,70	37,20	23,90	209,10	175,30	133,80	199,2	170,7	160,6	54,20	13,80
Cuenca III-3	Plan Extrac.	92,83	81,6	84,41	92,83	67,56	53,52	37,51	37,51	37,51	45,09	45,09	45,37
	Datos/Extrac.	32,98	16,91	79,47	20,07	31,98	39,84	59,24	41,7	38,68	16,33	56,97	08,52
	Batometría (m3)	10,21	10,72	11,21	11,52	13,75	13,44	13,93	12,89	12,7	13,39	13,41	13,47
Cuenca III-4	Plan Extrac.	123,88	102,24	107,65	123,88	75,18	75,18	17,29	17,29	17,29	31,90	31,90	31,90
	Datos/Extrac.	16,6	26,12	51,98	90,83	32	63,28	25,35	20,02	17,11	13,5	25,78	48,66
	Batometría (m3)	8,9	9,32	9,75	10,14	11,16	10,94	10,49	9,86	9,44	8,67	8,64	9,14

Tabla 20. Precipitaciones, demandas, extracciones y batometría 2015.

Variables		2015											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)		0,8	44,4	4,8	170,4	172,2	173,9	144,7	171,8	183,3	165,00	59,3	118
Cuenca III-3	Plan Extrac.	92,83	81,6	84,41	92,83	67,56	53,52	37,51	37,51	37,51	45,09	45,09	45,37
	Datos/Extrac.	27,23	6,23	70,79	64,69	75,45	10	84,27	60,1	45,11	64,47	63,47	71,26
	Batometría (m3)	13,87	14,07	14,16	14,29	14,3	14,37	14,25	14,25	13,79	13,89	14,04	13,48
Cuenca III-4	Plan Extrac.	123,88	102,24	107,65	123,88	75,18	75,18	17,29	17,29	17,29	31,90	31,90	31,90
	Datos/Extrac.	13,51	29,24	3,71	25,36	93,11	22,8	37,94	35,76	13,56	66,01	28,95	29,21
	Batometría (m3)	9,67	9,91	10,62	10,6	10,33	10,49	10,49	10,41	9,75	9,57	10,27	10,14

Tabla 21. Precipitaciones, demandas, extracciones y batometría 2016.

Variables		2016											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)		89,2	18,6	42,5	42,8	241,3	245,7	303,9	234,7	232,1	80,3	1,2	0,2
Cuenca III-3	Plan Extrac.	52,70	43,96	46,14	52,70	33,03	22,11	9,66	9,66	9,66	15,55	15,55	15,55
	Datos/Extrac.	10,86	26,85	54,75	73,88	35,97	62,58	33,67	30,31	35,37	46,6	13,84	33,74
	Batometría (m3)	13,69	13,73	14,23	14,43	14,4	14,06	13,77	13,58	12,96	12,88	12,85	13
Cuenca III-4	Plan Extrac.	52,70	43,96	46,14	52,70	33,03	22,11	9,66	9,66	9,66	15,55	15,55	15,55
	Datos/Extrac.	15,54	76,13	10,18	16,4	10,99	17,2	24,08	36,64	12,59	19,63	54,78	29,21
	Batometría (m3)	10,35	10,56	10,83	11,06	11,13	10,23	10,09	10,09	8,23	8,12	8,2	8,43

4.4. Determinación de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016.

Las precipitaciones promedios en los años 1972-2016 se presentan en la tabla 22, donde se distingue claramente el periodo lluvioso y el periodo seco. Se destacan como meses muy secos a diciembre y enero y como los más lluviosos a junio y septiembre. El promedio anual fue de 1 601,94 mm.

Tabla 22. Precipitaciones promedios anuales (mm).

Años	Meses												Total
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1972	28,7	41,1	35	70,4	232,2	415	239,5	168,5	245,5	167	89,5	29,5	1761,9
1973	75	12	36	9	80,5	255	209,5	266	334,5	106	13	31,5	1428
1974	0,4	10	5,5	18,1	238	191,3	148,5	232,6	167,7	81,3	0,2	0	1093,6
1975	1,2	38,3	0	38,4	66,4	217,6	183,5	266,2	236,7	113,3	14,5	18,8	1194,9
1976	5,8	34,2	16,2	180,3	314,8	459,9	109,4	223,8	283,3	250,5	16,2	40,7	1935,1
1977	43	21,4	34,8	56,3	321,8	468,3	124,7	312,5	246,2	27,3	83,4	53,3	1793
1978	52,6	73,6	71,5	141,2	223	155,2	199,3	323,8	185,2	222,7	51,9	13,9	1713,9
1979	72,7	57,9	1,9	77,4	178,9	158,7	247	108,1	276	81,6	20,1	4,9	1285,2
1980	36,6	75,8	9,5	5,4	148,1	275,6	190,7	144,9	218,8	146,4	326,3	2,5	1580,6
1981	41	9	66,1	2,8	191,8	273	179,4	188	114,5	79,4	14	0	1159
1982	27	67,2	70,5	97	170,1	103,7	199,8	106,7	297,2	140	38,5	0	1317,7
1983	279,3	254,7	72,2	64,8	40	337,5	154,1	253,1	171,8	151,2	52,9	65,2	1896,8
1984	27,8	54,2	104,2	36,7	200,9	207,4	178,4	146,5	271,2	15,5	46,5	2,7	1292
1985	8,7	8,7	26,4	71,7	265,4	162	171,3	210,1	170	116,4	76,2	50,4	1337,3
1986	3,5	39,9	30,5	7,8	105,9	182,9	114,3	254,8	117,6	135,4	14,6	89,7	1096,9
1987	29,3	10,5	127,6	14,3	69,7	293,3	149	143,5	256,2	113,7	36,9	45,1	1289,1
1988	30,9	14,9	37,6	21,9	279,1	308,7	254,9	213,9	143,1	45,4	73,9	0,5	1424,8
1989	1,3	15,2	60,2	101,8	72,6	204,4	199,8	196,9	183,9	125,1	80,1	84	1325,3
1990	15,6	38,6	85,1	89,5	404,8	169,4	155,5	219,1	202,8	80,6	46,2	49,6	1556,8
1991	41,3	15,6	23,8	138,1	271,7	338,3	256,8	253,2	176,5	224,4	7,3	14,1	1761,1
1992	20,5	38,3	11	94,4	84,3	280	173,1	212,8	220,2	46,6	43,9	0	1225,1
1993	116,9	38,8	120,8	77,9	178,9	199,2	217,2	147,7	173,7	207,1	23,3	27,4	1528,9
1994	42,1	49,1	135,7	102,9	326,7	149,7	177,5	193,2	381,9	135,5	102	37,2	1833,5
1995	46,7	46,6	50	129,4	166,3	508,5	306,5	194,4	222,7	202	44,1	109,7	2026,9
1996	83,7	20,7	110,6	134	323,3	301,7	216,7	167,4	91,7	371,3	6,8	6	1833,9
1997	30,2	7,3	43,3	39,1	117,9	686,7	139,2	198,9	345,2	18,3	100,5	86,9	1813,5
1998	155,5	95,5	141,7	0	200,2	134,1	193,3	413,7	369,9	170,1	56	55,8	1985,8
1999	32,8	8,2	13,7	71,3	208	443,6	228,5	283,9	379,9	415	131,8	0	2216,7
2000	58,9	35,2	57,3	101,9	185,8	305,1	356,4	399,6	256,5	174,9	0,9	65,1	1997,6
2001	34,3	12,8	10,2	71,1	84,8	179	149,2	99	251,9	86,7	284,4	26,4	1289,8
2002	19,6	43,2	64,9	29,7	217,9	345	165,6	150,1	304,4	84,9	23,7	70,4	1519,4
2003	31,1	31,9	69,7	71,7	255,5	266,7	233,2	234,8	233,8	56,5	8,7	16,8	1510,4
2004	28,7	29,9	0	66,7	102,2	213,3	148,1	168,7	131,3	178,1	13,9	3,8	1084,7
2005	1,9	0,9	70,6	18	80,2	375,6	629,7	185,6	385,3	437,3	7	8,5	2200,6
2006	31,3	20,8	0	18,1	232,5	212,4	239,6	209,4	309,7	81,1	0	63,2	1418,1
2007	0	24,2	0	27	212,5	340,6	303,6	308,5	319,8	325,8	0	37,7	1899,7
2008	0	138,3	63	99,6	242,6	447,8	341,3	473,3	490,1	149,65	121,2	44,6	2611,5
2009	0	27	23,5	0	268,3	374,5	82,9	99,1	277,6	45,7	37,5	30	1266,1
2010	34,4	156,5	15,5	91,5	137,1	89,9	251	265,4	317,2	127,1	64,1	2,8	1552,5
2011	43,3	0	50,4	78,1	145,2	143,3	274,5	245,8	191,5	184,79	5,7	7,3	1369,9
2012	34,3	118,2	60,8	179,9	301,3	293,4	202	148,19	187,65	187,1	0	8	1720,8
2013	0	49,6	38,2	95,9	252,4	186	358,6	152,3	165	61,6	24,4	0	1384
2014	4,3	65,4	32,2	23,9	204,4	259	86,7	246,8	215,4	233,7	53,2	7,6	1432,6
2015	0	33,9	0	174,1	225,7	197,4	130,5	251,5	235,9	124,3	49,5	143,7	1566,5
2016	87,4	7,2	17,9	17,6	236,6	299,3	287,7	0	0	0	0	0	953,7
Promedio Total	39,99	45,28	48,08	69,47	201,51	282,02	217,23	220,05	244,48	148,37	52,38	33,08	1601,9

En la tablas 23 y 24 se muestra el comportamiento de las precipitaciones y evaporación en los años comprendidos del 1983 al 2005 para el periodo seco y lluvioso. La evaporación promedio del periodo seco y lluvioso son bastante similares, 5,76 y 6,06 mm respectivamente, lo que evidencia las afectaciones al régimen hídrico del suelo.

Tabla. 23. Resumen precipitaciones y evaporación en periodo seco (1983 – 2005).

Años	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	LL	EV	LL	EV	LL	EV	LL	EV	LL	EV	LL	EV
1983	279,3	3,85	254,7	5,38	72,2	6,78	64,8	7,24	52,9	4,48	65,2	3,77
1984	27,8	3,99	54,2	4,97	104,4	5,87	36,7	7,07	46,5	4,21	2,7	4,47
1985	8,7	4,06	8,7	6,01	26,4	7,78	71,7	6,94	76,2	4,22	50,4	3,59
1986	3,5	3,91	39,9	5,27	30,5	6,8	7,8	8,29	14,6	4,41	89,7	3,49
1987	29,3	4,03	10,5	4,78	127,6	5,22	14,3	7,08	36,9	4,25	45,1	3,68
1988	30,9	4,42	14,9	5,14	37,6	6,22	21,9	7,6	73,9	4,27	0,5	4,17
1989	1,3	3,62	15,2	5,18	60,2	5,62	101,8	5,88	80,1	4,18	84	3,44
1990	15,6	4,42	38,6	5,64	85,1	5,91	89,5	6,03	46,2	4,13	49,6	4,04
1991	41,3	3,9	15,6	5,55	23,8	7,04	138,1	6,47	7,3	3,61	14,1	4,04
1992	20,5	3,87	38,3	5,02	11	6,12	94,4	5,5	43,9	4,09	0	4,19
1993	116,9	3,91	38,8	4,7	120,8	4,9	77,9	5,85	23,3	4,1	27,4	4,53
1994	42,1	4,53	49,1	5,38	135,7	5,89	102,9	6,73	102	4,41	37,2	4,18
1995	46,7	4,56	46,6	5,62	50	6,32	129,4	7,24	44,1	4,58	109,7	3,43
1996	83,7	4,38	162,4	27,73	183,8	35,22	150,8	33,9	135,6	-	116,9	-
1997	30,2	4,39	7,3	5,6	43,3	6,02	39,1	6,34	100,5	4,19	86,9	3,59
1998	155,5	3,61	95,5	4,66	141,7	5,65	0	7,25	56	4,67	55,8	4,03
1999	32,8	4,63	8,2	5,22	13,7	6,58	71,3	7,54	131,8	3,97	0	3,9
2000	58,9	4,19	35,2	4,93	57,3	6,18	101,9	6,87	0,9	5,11	65,1	3,79
2001	34,3	4,01	12,8	5,38	10,2	6,92	71,1	8	284,4	4,36	26,4	4,25
2002	19,6	4,3	43,2	4,92	64,9	5,92	29,7	6,15	23,7	5,24	70,4	4,35
2003	31,1	3,79	31,9	5,75	69,7	6,91	71,7	7,16	8,7	4,43	16,8	3,81
2004	28,7	4,82	29,9	5,7	0	6,84	66,7	7,35	13,9	4,66	3,8	4,55
2005	1,9		0,9		70,6		13		7		8,5	
Promedio	49,59	4,14	45,76	6,3	67,2	7,57	68,33	8,2	61,32	4,36	44,62	3,97

Tabla. 24. Resumen precipitaciones y evaporación periodo lluvioso (1983 – 2005).

Años	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
	LL	EV	LL	EV	LL	EV	LL	EV	LL	EV	LL	EV
1983	40	5.99	337.5	6.14	154.1	5.86	253.1	6.23	171.8	5.63	151.2	4.36
1984	200.9	6.32	207.4	6.16	178.4	6.09	146.5	5.82	271.2	4.38	15.5	5.64
1985	265.4	5.68	162	6.18	171.3	5.6	210.1	5.17	170	4.55	116.4	4.16
1986	105.9	7.84	182.9	5.62	114.3	6.9	254.8	6.24	117.6	5.75	135.4	5.05
1987	69.7	8.03	293.3	5.26	149	6.48	143.5	5.58	256.2	5.11	113.7	4.14
1988	279.1	6.67	308.7	5	254.9	5.21	213.9	5.42	143.1	5.66	45.4	5.47
1989	72.6	6.5	204.4	4.88	199.8	4.64	196.9	5.31	183.9	4.98	125.1	4.26
1990	404.8	6.32	169.4	5.86	155.5	4.71	219.1	5.87	202.8	4.84	80.6	5.27
1991	271.7	6.87	338.3	5.33	256.8	6.05	253.2	5.2	176.5	4.61	224.4	3.96
1992	84.3	6.56	280	4.63	173.1	6.35	212.8	5.25	220.2	4.31	46.6	4.84
1993	178.9	5.91	199.2	4.85	217.2	6.34	147.7	6.52	173.7	5.36	207.1	4.68
1994	326.7	6.02	149.7	6.35	177.5	6.05	193.2	5.67	381.9	4.24	135.5	4.84
1995	166.3	6.67	508.5	5.19	306.5	5.94	194.4	5.73	222.7	4.99	202	3.98
1996	158.7	22.69	143.9	25.88	194.4	14.87	170.4	12.86	142.4	20.93	136.6	-
1997	117.9	5.94	686.7	4.79	139.2	5.75	198.9	5.36	345.2	4.07	18.3	5.47
1998	200.2	7.09	134.1	5.66	193.3	5.7	413.7	5.07	369.9	4.51	170.1	4.67
1999	208	6.31	443.6	4.64	228.5	5.82	283.9	4.12	379.9	4.68	415	4.59
2000	185.8	7.4	305.1	5.83	356.4	5.79	399.6	5.73	256.5	4.48	174.9	5.52
2001	84.8	6.73	179	6.08	149.2	5.21	99	5.76	251.9	5.02	86.7	5.09
2002	217.9	6.46	345	5.15	165.6	4.9	150.1	5.09	304.4	3.92	84.9	5.48
2003	255.5	7.19	266.7	5.93	233.2	6.75	234.8	5.55	233.8	5.21	56.5	5.26
2004	102.2	7.82	213.3	7.18	148.1	5.06	168.7	5.58	131.3	5.76	178.1	4.98
2005	80.2		375.6		629.7		185.6		385.3		437.3	
Promedio	177,28	7,41	279,75	6,48	215,04	6,18	214,95	5,87	238,79	5,59	145,97	4,84

5. CONCLUSIONES.

Los estudios realizados permitieron arribar a las siguientes conclusiones:

1. No se manifiesta en la actualidad la presencia de la intrusión salina en las áreas de la Empresa Citrícola “Victoria de Girón”.
2. La calidad de las aguas con que se riega es apta para ese fin, estando comprendida entre las categorías I, II y III.
3. Los estudios batométricos confirman que en los últimos 16 años, la cuenca M-III-3 no ha rebasado el nivel de alerta y la cuenca M-III-4 solo ha mostrado comportamientos muy cercanos a este nivel.
4. Los altos niveles de explotación de las cuencas al sobrepasar los volúmenes autorizados y en periodos de baja pluviometría han tenido su influencia negativa en las lecturas batométricas.
5. La explotación continuada de la extracción de agua para el riego por el incremento de las áreas de siembra en las cuencas M-III-3 y M-III-4 ha superado la demanda autorizada por el instituto de recursos hidráulicos.

6. RECOMENDACIONES

1. Continuar los estudios de la intrusión salina en las condiciones de Jagüey Grande.
2. Tener en cuenta la extracción de las demandas para no tener una sobreexplotación que contribuya a su salinización.

7. BIBLIOGRAFIA.

Agricultura Sostenible y conservación de Suelos. Procesos de degradación del suelo: salinización y Sodificación. 2006. Ficha Informática No 4. 25 p.

Álvarez, J. M. 2002. Caracterización y manejo de los principales factores edáficos limitantes de la agroproductividad de los suelos: Facultad de Agronomía. Universidad de Matanzas.

Anejo VI. 2012. Calidad del agua de riego [en línea]. Disponible en: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioJimenez/08-Anejo6.PDF. [Consulta: noviembre, 20 2017].

Ascanio, M. O.; Hernández, A.; Cabrera, A.; Morales, Marisol; Medina, N. y Rivero, L. 2003. Nuevos aportes a la clasificación de suelos en el ámbito nacional e internacional. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba.

Badia, D. 1992. Suelos afectados por sales. Boletín. Sociedad Catalana de Ciencias. 23 p.

Barkia, B.; Vera, R.; Balderas, E. y Pantoja, 2007. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. Mexicana de Biotecnología. 14: 263-272.

Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 1999. FAO, ISRIC y SICS-Contaminación por sales solubles [en línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/contaminaci%C3%B3n-por-sales-solubles-javier-jimenez-osorio>. [Consulta: abril, 12 2017].

Cairo, P. y Fundara, O. 2005. Edafología. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. p. 11-17.

Chávez, R. 2011. Las aguas subterráneas y el Cambio Climático en México. Simposio: “Las Ciencias de la tierra en el estudio del agua subterránea.” Comisión Nacional del agua. México.

CICEANA (Centro de información y comunicación Ambiental de Norte América). 2002. Salinización del agua. Ciudad de México. 46 p.

Contaminación del suelo por Sales y su Remediación [en línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/doc/69652556/CONTAMINACION-DEL-SUELO-POR-SALES-Y-SU-REMEDIACION>. [Consulta: noviembre, 20 2017].

Contribución a la reducción del fenómeno de intrusión salina a partir de una adecuada selección del equipo de bombeo [en línea]. Disponible en: http://dima.chapingo.mx/revista/Vol_6_n_2_2016/pdf/IA05216.pdf. [Consulta: enero, 11 2018].

Díaz, H. *et al.* 2017. Informe sobre la tarea Programa “Cambio Climático en Cuba: Impactos, Mitigación y Adaptación”, Proyecto: Enfrentamiento al cambio climático en el cultivo de los cítricos”. Código: P 211LH001-038. P 23.

EAH. 2017. Informe sobre datos solicitados para el estudio de la Intrusión Salina. p. 21.

Espinosa, C. y Molina, M. E. 2001. Estudio de instrucción Salina en Acuíferos costeros: Sector Costa Quebrada “Los Chorres”, IV Región. Informe Final. Universidad de Chile.

FAO-UNESCO. 1988. Soils of the world. Revised Legend. FAO, Roma. 119 p.

FAO. 2012. Agua y Cultivos, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Roma. 22 p.

García, A. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua de riego. A R. No 6. p. 27-36.

Garniel, E.; Vera, H. y González, L. 2004. Dinámica de la interface salina y calidad del agua en la costa nororiental de Yucatán. Mexicana de Ingeniería. 8(3): 15-25.

Gómez, A. 2010. Respuesta del naranjo Late a la salinidad y a la fertilización nitrogenada. Murcia. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario, Alimentación.

González, L. M.; González, M. C. y Ramírez, R. 2002. Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. Cultivos Tropicales. 23(2): 27-37.

Hernández, A. y Ascanio, M. O. 2001. Desarrollo y estado actual de la clasificación de suelos en el mundo y en Cuba. Boletín No 4 de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. p. 3-6.

Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Cabrera, A.; Morales, Marisol; Medina, N. y Rivero, L. B. 2003. Nuevos aportes a la clasificación de suelos en el ámbito nacional e internacional. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana, Cuba. 221 p.

Hernández, A.; Ascanio, M. O.; García, M. C.; Morales, Marisol y Cabrera, A. 2005. Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: Una herramienta para la investigación, Docencia y Producción Agropecuaria. Instituto de ciencias Agrícolas (INCA). La Habana, Cuba. 67 p.

Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Rivero, L. 1999. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Edit. AGRINFOR. Ciudad Habana, Cuba. 64 p.

Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D; Rivero, L. y Camacho, E, 1995. Nueva Versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana.

Hernández, A.; Pérez, J. M.; Marsán, R.; Morales, M. y López, R. 1996. Correlación de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales Soil Taxonomía y FAO-Unesco. Instituto de Suelos. MINAG. 42 p.

Impacto del cambio global en la Dinámica de la Intrusión Marina. 2016. [en línea]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/intrusion.pdf>. [Consulta: noviembre, 20 2017].

Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 2001. Impacto del cambio Global en la Dinámica de la Intrusión Marina. XXII (4).

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2006. Métodos de Análisis de agua para riego. Centro Regional de investigaciones “La Platina”. Santiago de Chile. Chile. 331 p.

Instituto de Suelos. 1975. 2da. Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Series Suelos 23: 1-25.

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. 2009. Manual de Procedimiento para los laboratorios químicos. Jovellanos. Matanzas.

Instructivo R017 Medida de la Salinidad de un Suelo. [en línea]. Disponible en: http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R017_%20Medida%20de%20la%20salinidad%20de%20un%20suelo.pdf. [Consulta: noviembre, 20 2017].

Intrusión salina. 2011. [en línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Suelo_salino. [Consulta: junio, 9 2017].

Jamarillo, D. 2002. Introducción a la cuenca del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia.

Jarsun, O.; Bostos, V y Carnere, M. 2008. Manual de uso e interpretación de Aguas. Córdoba: Argentina. 44 p.

Jornada Técnica del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Lérida. Fertilización y Riego: Aplicaciones en Fruticultura. Manejo de los suelos. 2015 Interpretación. Caso particular de salinización y zonificación. Correcciones [en línea]. Disponible en: http://www.agricoles.org/repositori/documents/noticies/ca/2011%20noviembre-%20ETSIA%20Lerida_Manejo%20suelos,%20salin%20y%20sodif.pdf. [Consulta: enero, 11 2018].

La calidad de las aguas. 2008. [en línea]. Disponible en: https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf [Consulta: junio, 9 2017].

Lamz, A. y González, M. 2012. La Salinidad como problema en la agricultura; la mejora vegetal una solución inmediata. INCA. La Habana, Cuba.

Land Care in Desertification Affected Areas; Fromm Science Tonarde Application (Lucinda). 2008. Series Folletos; B. No 3.

Lannetta, M. y Coloma, N. 2012. LUCINDA. [en línea]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10685/1de5.VKcap1.pdf;jsessionid=5B9BDC5BF97BE2ED06140C749A3C2161.tdx1?sequence=2>. [Consulta: junio, 9 2017].

Lección 3. 2012. Degradación del suelo. Degradación química. Salinización. Origen de la salinidad [en línea]. Disponible en:<https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/GCSP/GCSL3DQSaliOrigen.htm>. [Consulta: abril, 12 2017].

Lección 3. 2012. Degradación del suelo. Degradación química. Salinización. Características de las sales [en línea]. Disponible en:<https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/GCSP/GCSL3DQSaliCarSales.htm>. [Consulta: abril, 12 2017].

Lección 23. 2010. [en línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/117419303/Procesos-de-salinizacion>. [Consulta: noviembre, 20 2017].

Martin, N. 2006. Edafología. UNAH. Editora Félix Varela. La Habana, Cuba.

Mata, I.; Rodríguez, M.; López, A. y Vela, G. 2014. Dinámica de la Salinidad en los Suelos. Digital "El Hombre y su Ambiente". 1(6): 26-39.

Montuli, A. 2010. Respuesta fisiológica de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos. Castellón. Tesis en opción al grado científico de Doctor. Universidad Jaume I. de Castellón. España.

Morales, O.; Hernández, A.; Labaut, M.; Ortiz, A. y Pérez, D. 2000. Medidas para contrarrestar la salinidad en suelos arroceros en Cuba: Parte I. "Caracterización de la salinidad en la zona norte del Valle del Cauto (CAI arroceros de Holguín y las Tunas". Cubana del Arroz. 2(3).

Navarro, J. M.; López, B.; García, S.; Anduján, C. y Porias, I. 2008. Estudio de la respuesta a la salinidad de diferentes patrones de cítricos. Instituto Nurciano de

Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. La Alberca. Murcia. España. p. 112-116.

Norma Cubana NC XXX: 2011. Calidad del Suelo. Agua para el riego. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización.

Norma Chilena Oficial. Nch1333.of 78. 1997. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Santiago de Chile, Chile.

Ortega, S. F.; Peña, F. y Castillo, N. 1986 La salinidad de los suelos de Cuba. Aspectos económicos globales. Ciencias de la Agricultura. 27(2): 137-144.

Otero, Lazara; Alden, F.; Gálvez, R.; Sánchez, I.; Labaut, M.; Vento, M. y Rivero, L. 2007. Caracterización y evaluación de la salinidad. Instituto de suelos. La Habana, Cuba. 24 p.

Otero, Lazara y Morales, V. 2011. Salinidad del Suelo: un problema que incumbe a todos. Agricultura Orgánica. 1(3): 33-34.

Paneque, V.; Calaña, O y Calderes, I. T. 2010. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelos; foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. INCA. La Habana, Cuba. p. 153.

Paredes, I.; Vargas, M. C. y Arellano, F, 2010. Hidrogeo-Química en el Acuífero costero del eje bananero de Uraba. Ingenierías. 9(17): 51-62.

PCC (Partido Comunista de Cuba). 2010. Proyecto de lineamientos de la política económica y social. p. 32.

Pla, I. 2007. Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y Consecuencias. Departamento de medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida. España.

Pozos de bombeo e intrusión salina. [en línea]. Disponible en: <http://studylib.es/doc/4479645/iv.-pozos-de-bombeo-e-intrusion-salina>. [Consulta: abril, 12 2017].

Quiñones, A.; Martínez, B.; Garcés, M. y Legas, F. 2009. Minimización de los daños por salinidad en cítricos mediante la fertilización nitrogenada. Centro de citricultura y Producción Vegetal. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. España.

Ruiz, N. 2006. La Salinidad del agua de riego y del suelo. Sistema de asistencia al Regante (Sar). I FAPA: España.

Salinidad en cultivos agrícolas. [en línea]. Disponible en: http://www.gatfertilizados.com/salinidad_cultivos.pdf. [Consulta: marzo, 14 2017].

Sánchez, J. 2007. Clasificación y uso de las aguas de riego, Fertitel, S, A. p. 11.

Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. USDA. 890 p.

Soil Survey Staff. 2006. Claves para la taxonomía de Suelos. USDA. Décima Edición. 325 p.

Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. 2003. USDA, Ninth Edition. 332 p.

Sole, A. y Cantón, Y. 2006. Mejoras de suelos Salinos y control de la erosión en zonas áridas. Curso de Mejoramiento de Suelos Salinos. Ministerio de Agricultura Madrid. España. 52 p.

Spaargaren, O. C.; Arnold, R. W. y Blume, H. P. 1994: World Reference Base for Soil Resources. ISSS. ISRIC. FAO. Wageningen, Rome. 1161 p.

Suelos salinos: salinización y sodificación de suelos. 2006. [en línea]. Disponible en: <https://cienciaybiologia.com/suelos-salinos/>. [Consulta: noviembre, 20 2017].

Survey Staff. 1994. Claves para la Taxonomía de suelos. USDA. Sexta Edición. SMCC. Colegio de postgraduados. 306 p.

Tema 12. Contaminación por sales solubles [en línea]. Disponible en: <http://www.edafologia.net/conta/tema12/sales.htm>. [Consulta: marzo, 14 2017].

Trillo, G. C. 2010. Calidad del agua para el riego agrícola, Control de la calidad medio ambiental de los retornos de riego en riegos del alto Aragón, Proyecto Qualinatur, España. 15 p.

Vargas, G. y Rodríguez, A. 2000. Influencias de las aguas de riego en los procesos de salinización y sodificación de suelos en cultivos de plátanos y tomates. Edafología. 7(3): 129-136.

Vázquez, H.; Obregón, A. y Pena, J. 1985. Regiones salinas y salinizadas de Cuba. La Habana: Coloquio Cuba-Francia. Academia de Ciencias de Cuba.

Zamoliinski, A. 2003. Experiencias en recuperación de suelos salinos. Estación Experimental Agropecuaria "General Villegas". Publicación Técnica No 31. Buenos Aires, Argentina.