

**UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA  
PARA EL RIEGO EN LAS PLANTACIONES DE  
FRUTALES EN LA E.A.I. "VICTORIA DE GIRON".**



**AUTOR: OSVALDO CORTÉS MORILLA.**

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

**Jagüey Grande  
2018**



UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



## **ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA EL RIEGO EN LAS PLANTACIONES DE FRUTALES EN LA E.A.I. “VICTORIA DE GIRON”.**

Tesis presentada en opción al Título de  
Especialista en Fruticultura Tropical

Autor: Ing. Osvaldo Cortés Morilla.

**Tutor:** MSc. Héctor Díaz Álvarez

Jagüey Grande

2018

## **DEDICATORIA**

A mi esposa, compañera de vida y soporte de todos mis proyectos.

A mis hijos.

A los compañeros de estudio y maestros que nos han dado la posibilidad de elevar nuestros conocimientos para el empleo de estos en la empresa.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia que siempre me ha estimulado en mis ansias de superación, por el amor que me inculcaron por esta carrera.

A mi tutor MS.c. Héctor Díaz Álvarez por su valiosa contribución en la conducción y elaboración del documento

Al Dr. C. Ramón Liriano González, coordinador de la Especialidad por su consagración y dedicación durante estos dos años.

Al Dr. C. Miguel Aranguren González por su apoyo y oportunas recomendaciones.

A los profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Matanzas y de la Estación Científico Tecnológica de base Félix Duque.

A mis compañeros de trabajo.

## **RESUMEN.**

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar la calidad de las aguas de riego en las áreas frutícolas de la E.A.I. "Victoria de Girón" dado los incrementos sostenidos en las siembras de frutales en el último lustro y las disminuciones de las precipitaciones anuales. Se seleccionaron los pozos en las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4 conformando dos transversas, las muestras de agua fueron tomadas en octubre-noviembre del 2016, febrero-marzo y mayo-junio del 2017. La determinación de las propiedades químicas de las aguas (pH, SST, conductividad eléctrica,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$ ) se realizó en el laboratorio de la Estación Provincial de Investigación de la Caña de Azúcar (EPICA) y los criterios de evaluación fueron realizados por la NC XXX: 2011. Los resultados obtenidos indican que la calidad de las aguas con que se riega es apta para ese fin, estando comprendida entre las categorías I y II de la NC XXX: 2011. El promedio anual de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016 fue de 1 601,94 mm.

**INDICE****Pág.**

1. Introducción	1
2. Revisión Bibliográfica.	4
2.1. Suelos Salinos	4
2.1.1. Proceso de formación de los suelos salinos.	6
2.1.2. Clasificación de los suelos salinos	7
2.1.3. Características y propiedades más importantes de los suelos salinos	8
2.1.4. Efecto de la salinidad en las plantas.	11
2.2. Estudio de las aguas de riego. Evaluación y calidad	15
3. Materiales y Métodos	26
3.1. Localización del experimento.	26
3.2. Selección de los pozos representativos para las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4	26
3.3. Análisis químicos de los pozos seleccionados.	26
3.4.- Evaluación de la calidad de las aguas de riego.	27
3.5. Determinación de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016.	27
4. Resultados y Discusión.	28
4.1. Análisis químicos de los pozos seleccionados.	28
4.2. Determinación de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016.	30
5. Conclusiones.	32
6. Recomendaciones.	33
7. Bibliografía.	34

## **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 km<sup>2</sup>; 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.

Actualmente, la salinidad de los suelos es un problema que restringe las actividades agrícolas, sin importar si son grandes o pequeñas extensiones de tierra, ya que provoca la disminución de la capacidad productiva de los suelos y rendimiento de los cultivos, afectado la calidad ecológica del medio ambiente, principalmente en zonas donde la evaporación superficial y la absorción de agua por las plantas exceden el nivel de las precipitaciones, lo que origina un movimiento ascendente de las sales disueltas en las aguas subterráneas, desplazándose estas hacia la superficie del suelo, degradando con frecuencia las condiciones estructurales y químicas de los suelos.

En agricultura de riego, el proceso de degradación de suelos más frecuente es el desarrollo de suelos afectados por sales. La salinización de los suelos puede conducir a una pérdida parcial o total de su capacidad productiva, causada por una degradación interna de sus propiedades químicas o físicas. Aunque a nivel mundial el área afectada por procesos de salinización inducida por el hombre es mucho menor que el área afectada por procesos de erosión, este proceso de degradación es también muy importante desde puntos de vista social, económico y ambiental, por los elevados costos de los desarrollos de agricultura de riego, por el uso de altas cantidades de recursos de agua cada vez más escasos, y por la decisiva contribución de las tierras bajo riego a la producción de alimentos a nivel local y mundial. La introducción del riego en una zona provoca cambios drásticos en el régimen y balance de agua y solutos en el perfil del suelo. Los problemas de salinidad son una consecuencia de la acumulación de sales en zonas y

profundidades donde el régimen de humedad del suelo se caracteriza por fuertes pérdidas de agua por evaporación y transpiración, y por reducido lavado de las sales que permanecen. Esto ocurre cuando el manejo del agua de riego y drenaje no es adecuado para las condiciones particulares de clima, suelos, cultivos, fertilización, profundidad de nivel freático, calidad de agua de riego, y sistema de riego (Pla, 1996).

Particularmente en el caso de los cítricos, la tolerancia a la salinidad está más enfocada a minimizar el efecto tóxico del cloruro (Cl<sup>-</sup>), que a evitar el efecto osmótico de la concentración de sales. Esta tolerancia está relacionada con la capacidad de exclusión del Cl<sup>-</sup> por parte del portainjerto, evitando que el cloruro llegue y se acumule en las hojas de la variedad injertada.

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; 29)

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

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 3366 nuevas hectáreas en el último lustro, a pesar de sus limitaciones financieras, comprometiéndose a incrementar sus áreas de frutales en 1000 hectáreas anuales.

asados 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 los mismos 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, siendo el objetivo de la presente tesis el abordar esta temática.

**Problema.**

Se desconoce la calidad de las aguas para el riego de las plantaciones frutícolas en la E.A.I. “Victoria de Girón”.

**Hipótesis.**

Con la evaluación de la calidad de las aguas para el riego de las plantaciones frutícolas se podrá prever futuras afectaciones por salinización en las áreas de la E.A.I. “Victoria de Girón”, así como determinar los criterios para su uso.

**Objetivo general.**

Determinar la calidad de las aguas de riego en las áreas frutícolas de la E.A.I. “Victoria de Girón” dado los incrementos sostenidos en las siembras de frutales en el último lustro y las disminuciones de las precipitaciones anuales.

**Objetivos Específicos.**

- 1.- Determinar las categorías de calidad de las aguas de riego aplicadas a los cultivos en los subtipos de suelos ferralíticos rojos existentes en la empresa, evaluándolas según la NC XXX: 2011.
- 2- Evaluar el comportamiento de las precipitaciones en el periodo 2000-2016.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1. 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 ( $\text{CaSO}_4$ ), sal común (NaCl), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 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<sup>+</sup> 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.

<b>Clasificación</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>PSI</b>	<b>Proceso</b>
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<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup>), 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, cuanta 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 (ECw) 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<sub>w</sub> 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  $\mu\text{S}$  (microSiemens) (Lucinda, 2012).

### **2.1.1. Proceso de formación de los suelos salinos.**

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 está 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 la cuenca, 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.

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

Las sales no son igualmente tóxicas para las plantas. Las más tóxicas son las de sodio, luego las de magnesio y por último 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. 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 <sup>^</sup>solonchakado<sup>^</sup> (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

### **2.1.3. 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  $4 \text{ dSm}^{-1}$  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  $4 \text{ dSm}^{-1}$  (aproximadamente, los  $40 \text{ mmol.L}^{-1}$  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  $\text{dSm}^{-1}$ . Su pH es alcalino, variable entre 8,5 y 10 debido a la ausencia de  $\text{H}^+$  y la abundancia de  $\text{Na}^+$  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  $\text{dSm}^{-1}$  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  $\text{dSm}^{-1}$  y el PSI inferior a 15.

#### **2.1.4. Efecto de la salinidad en las plantas.**

Navarro *et al.* (2008) estudiaron la respuesta a la salinidad de diferentes patrones de cítricos y expresan que los cítricos son cultivos sensibles a la salinidad y su tolerancia depende de las características del patrón para excluir los iones salinos cuya acumulación es la principal causa de toxicidad. Estudiando la tolerancia a la salinidad de patrones utilizados en el cultivo de limón y pomelo (*C. macrophylla* y *citrange* Carrizo) y analizando los parámetros de desarrollo vegetativo, relaciones hídricas, ajuste osmótico y acumulación de iones obtuvieron que la salinidad redujo la altura y el peso de las plantas de *C. macrophylla*, no afectando a las plantas de Carrizo. El potencial hídrico disminuyó en los dos patrones, bajando el potencial osmótico y aumentando la turgencia celular, consiguiendo las plantas un ajuste osmótico. Esta disminución del potencial osmótico se debió a una acumulación activa de solutos, principalmente  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . Los altos niveles de estos iones en las plantas

de *C. macrophylla* pudieron ser los responsables de la disminución del crecimiento de estas plantas, sin embargo, su acumulación en Carrizo no produjo disminuciones en su crecimiento. Los dos patrones utilizaron también prolina como osmótico orgánico. El  $\text{Ca}^{2+}$  en hojas disminuyó con la sal, probablemente debido a su menor absorción. Sin embargo,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  no variaron con la salinidad mientras que Fe y Cu aumentaron debido a un efecto de concentración.

Quiñones *et al.* (2008) señalan que en los cítricos, tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo, están claramente limitados por las condiciones ambientales externas, principalmente por el déficit hídrico, la salinidad, la hipoxia o anoxia, las temperaturas bajas y la disponibilidad de nutrientes. En cuanto a la influencia del estrés salino en la fisiología de los cítricos se señala que la salinidad era, hasta hace poco tiempo, una condición adversa de escasa importancia para el cultivo de los cítricos y se localizaba sólo en áreas cercanas a la costa o en determinados ambientes procedentes de la evaporación de aguas cargadas de sales. Sin embargo, el desarrollo experimentado por las técnicas agrícolas en los últimos años, junto a la sobreexplotación de los acuíferos, han provocado que el estrés salino sea, en la actualidad, un problema ampliamente extendido. Se estima que un tercio de la superficie terrestre está afectada, en mayor o menor grado, por un exceso de sales.

Los cítricos son muy sensibles a la salinidad y en particular a los iones  $\text{Cl}^-$ , que son los responsables de los efectos nocivos de la salinidad en este cultivo. Los efectos de los cloruros sobre la fisiología de los cítricos son muy diversos aunque, desde un punto de vista agronómico, se pueden destacar tres:

- 1.- Reducción en el desarrollo y en la emisión de brotes, que son más escasos y tienden a necrosar y caer.
- 2.- Disminución del volumen de producción así como del número de frutos, aunque la calidad individual de éstos se mantiene prácticamente inalterada.
- 3.- Incremento progresivo de la abscisión foliar que, si se produce de forma masiva, puede llegar a provocar la muerte del árbol.

La salinidad provoca dos efectos principales: por un lado el efecto osmótico derivado de la acumulación masiva de sales en el substrato, con la consecuente bajada del potencial hídrico y por otro el efecto fitotóxico específico de los  $\text{Cl}^-$ . Los cítricos son

capaces de restablecer de forma efectiva el balance osmótico existente entre la planta y el entorno mediante la síntesis de osmolitos compatibles, como la prolina, en la parte aérea y la absorción de iones  $\text{Cl}^-$  procedentes del sustrato. De esta forma consiguen bajar el potencial hídrico foliar y aseguran el flujo de agua. Este mecanismo encargado de combatir el estrés hídrico generado, tiene efectos negativos a largo plazo, dando lugar a la aparición del efecto fitotóxico, ya que la absorción de iones  $\text{Cl}^-$  y su acumulación en los tejidos puede llegar a niveles tóxicos, y desencadenar toda una serie de respuestas fisiológicas. La incidencia de este segundo efecto dependerá de la relativa sensibilidad del genotipo considerado.

Las respuestas de los cítricos a la salinidad presentan dos fases: una respuesta inicial, relativamente intensa y transitoria, atribuida al componente osmótico y una segunda fase, probablemente solapada con la anterior, que depende en mayor medida de la acumulación de prolina.

Montuli (2010) al analizar el efecto de las sales sobre la fisiología de las plantas destaca que esta presenta una doble vertiente, un efecto osmótico y otro iónico. La acumulación de sales en la zona radicular provoca el descenso del potencial hídrico del suelo y dificulta la absorción de agua y nutrientes; pero la planta, a través de diferentes mecanismos, consigue restablecer el balance osmótico. Es en este punto cuando la absorción de las sales y su incorporación a los tejidos llevan a la aparición del efecto iónico que provocará diferentes daños en la planta dependiendo, por una parte de la sensibilidad del genotipo a las sales y por otra, de la especie iónica.

ANEJO VI (2012) señala que la salinidad en las plantas genera tres problemas:

1.- Efecto de potencial osmótico: En términos simples la planta no puede absorber agua debido a que está siendo retenida por las sales. Este es el principal problema de la salinidad y afecta principalmente a las plantas en la época de mayor temperatura.

2.- Efecto de toxicidad: Existen algunos iones, como ocurre con el sodio, cloruro y boro, que en exceso generan toxicidad en las plantas. El quemado del ápice de las hojas es un efecto típico de toxicidad por sales.

3.- Desbalance nutricional: Este problema se produce por el exceso de algunos de estos iones. Por ejemplo, el exceso de sodio puede afectar la absorción de calcio. El exceso de cloruro afecta la absorción de nitrógeno nítrico.

Mata *et al.* (2014) expone que la salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones. Los efectos de las sales en las plantas, se presentan cuando son sometidas a elevadas concentraciones de una sal, lo que afecta la retención del agua, y de los efectos iónicos que esto ocasiona, muy específicamente sobre el citoplasma y las membranas de las células. El estrés salino rompe la homeostasis iónica de las plantas al provocar un exceso tóxico de sodio ( $\text{Na}^+$ ) en el citoplasma y una deficiencia de iones como el potasio ( $\text{K}^+$ ). El sodio inhibe muchas enzimas y por eso es importante prevenir la entrada del mismo al citoplasma. Los sistemas enzimáticos de la glicólisis, ciclo de Krebs y la fotofosforilación son especialmente sensibles a las soluciones salinas, y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, adquisición de nutrientes y una disminución del crecimiento de la planta y germinación de la semilla.

El efecto osmótico, detectado en suelos salinos, consiste en altas concentraciones de sales que incrementan las fuerzas potenciales que retienen al agua en la solución del suelo y hacen más difíciles la extracción del agua por las raíces de la plantas, que al reducir el potencial hídrico de la solución del suelo, disminuye la disponibilidad de agua, y crea un desequilibrio nutritivo dada la elevada concentración de elementos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular. La presencia de algunos iones en la solución del suelo a determinadas concentraciones provoca efectos tóxicos, como el calcio, magnesio, cloruros y sulfatos de sodio, siendo para las plantas los principales iones citotóxicos el sodio, los cloruros y sulfatos. Por otra parte, esta toxicidad de las sales, inducen alteraciones en el metabolismo de las plantas, ocasionando la acumulación de productos tóxicos, afectando su balance energético, ya que al aumentar la presión osmótica de la solución, sufren una adaptación osmótica sus células para poder

absorber agua, llevando a cabo un mayor consumo de energía produciendo un menor crecimiento en su altura.

Lenz y González (2013) establece que el estrés salino como efecto a la salinidad causa la reducción en el crecimiento y desarrollo de las plantas y estas pueden sufrir tres tipos de estrés y que como consecuencia de la combinación de éstos, un cuarto estrés se manifiesta. Sus características son detalladas a continuación:

- 1.- Toxicidad ion específica, debido la alta concentración de sodio y cloruro.
- 2.- Desbalance nutricional, debido a los altos niveles de sodio y cloruro que reducen la captación de  $K^+$ ,  $NO^-$ ,  $PO_4^{3-}$  etc.
- 3.- Incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno que dañan las macromoléculas

Mata *et al* (2014) destacan que el efecto de las sales en las plantas se presenta cuando son sometidas a altas concentraciones de una sal, lo que puede afectar su capacidad de retención de agua y además de los efectos iónicos que ocasiona a nivel enzimático en los procesos de glicólisis, ciclo de Krebs y fotofosforilación, que son sensibles a las soluciones salinas, y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, de nutrientes y del crecimiento de las plantas y germinación de las semillas. La salinidad de los suelos se manifiesta por la presencia de sales solubles en la solución del mismo, estas sales aumentan la presión osmótica de la solución del suelo, restringiendo la posibilidad de succión del agua por las plantas, pudiendo impedir el abastecimiento de la misma.

## **2.2.- 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 ( $\text{Na}^+$ ) y, en ocasiones de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) con respecto a otros cationes. Cuando el contenido de calcio ( $\text{Ca}$ ) es bajo, el  $\text{Na}$  y  $\text{Mg}$  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  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , cloro ( $\text{Cl}^-$ ), 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:  
 $\leq 750$  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 <sup>-1</sup>	0 UFC.100 mL <sup>-1</sup>	Ausencia / 100 mL
Coliformes termo tolerantes	< 2 NMP.100 mL <sup>-1</sup>	0 UFC.100 mL <sup>-1</sup>	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<sup>-1</sup>).

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  $\text{Na}^{+1}$ , concentración de  $\text{Cl}^{-1}$ , concentración de B, concentración de carbonatos residuales y porcentaje de  $\text{Mg}^{2+}$ . 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.

<b>Agrupación.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Subtipos de Suelos	- Arenoso cuarcítico	- Gley amarillento cuarcítico - Gley húmico - Gley ferralítico - Gley amarillento	- Ferrífico purpura típico - Ferralítico rojo típico
<b>Agrupación.</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
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
<b>Agrupación.</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>IX</b>
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 <sup>-1</sup>		<0,62	<0,56	<0,70	<0,70	<0,62	<0,62	<0,62	<0,70	<0,56
Sales solubles disueltas (mg.L <sup>-1</sup> )		<400	<360	<500	<450	<400	<400	<400	<450	<360
RAS ajustada (mmol.L <sup>-0.5</sup> )		<8	<8	<16	<16	<6	<6	<8	<8	<6
Salinidad efectiva (mmol.L <sup>-1</sup> )		<7	<3	<7	<7	<7	<5	<5	<7	<3
Na <sup>+</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> ) Riego por el suelo		<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Na <sup>+</sup> (mmol. L <sup>-1</sup> ) Riego por aspersión		<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
CL <sup>-</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> )* 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 <sup>-</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> )* 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 <sup>-1</sup> )* 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 <sup>+2</sup> (% de las sales disueltas)		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Carbonatos residuales (mmol. L <sup>-1</sup> )		<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25
<b>NOTA 1</b>	*	significa que varía según la sensibilidad del cultivo								
<b>NOTA 2</b>	S	significa que es para cultivos sensibles								
<b>NOTA 3</b>	ST	significa que es para cultivos semi – tolerantes								
<b>NOTA 4</b>	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 <sup>-1</sup>		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 <sup>-1</sup> )		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 <sup>-0.5</sup> )		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 <sup>-1</sup> )		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 <sup>+</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> ) 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 <sup>+</sup> (mmol. L <sup>-1</sup> ) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
CL <sup>-</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> ) 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 <sup>-</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> ) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
Boro (mg, L <sup>-1</sup> ) *	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 <sup>+2</sup> (% 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 <sup>-1</sup> )		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
<b>NOTA 1</b>	*	significa que varía según la sensibilidad del cultivo								
<b>NOTA 2</b>	S	significa que es para cultivos sensibles								
<b>NOTA 3</b>	ST	significa que es para cultivos semi – tolerantes								
<b>NOTA 4</b>	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 <sup>-1</sup>		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 <sup>-1</sup> )		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 <sup>-0.5</sup> )		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 <sup>-1</sup> )		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 <sup>+</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> ) 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 <sup>+</sup> (mmol. L <sup>-1</sup> ) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
CL <sup>-</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> ) Riego por el suelo*	S	5 a 10	5 a10	5 a10	5 a10	5 a10				
	ST	6 a 10	6 a10	6 a10	6 a10	6 a10				
	T	7 a 10								
CL <sup>-</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> ) Riego por aspersión		> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
Boro (mg, L-1) *	S	0,9 a 1,6								
	ST	1,2 α 1,8								
	T	1,4 a 2,0								
Mg <sup>+2</sup> (% de las sales disueltas)		> 60	> 60	> 75	> 75	> 60	> 50	> 60	> 60	> 50
Carbonatos residuales mmol,l-1		1,87 a 2,50								

Nota 1 \* Significa que varía según la sensibilidad del 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 los pozos en las cuencas hidrográficas M-III-3 y M-III-4 conformando dos transversas. Las muestras de agua fueron tomadas con la siguiente frecuencia:

- Octubre-Noviembre. 2016
- Febrero-Marzo. 2017.
- Mayo-Junio. 2017

#### **3.3. Análisis químicos de los pozos seleccionados.**

La determinación de las propiedades químicas de las aguas fue realizada en el laboratorio de la Estación Provincial de Investigación de la Caña de Azúcar (EPICA) del municipio de Jovellanos, Matanzas, perteneciente al Instituto Nacional de Investigación de la Caña de Azúcar (INICA) según el manual de procedimientos para laboratorios químicos (2009) de la propia institución. Las metodías utilizadas fueron las siguientes:

- Determinación del pH. Método potenciométrico.
- Determinación de las SST. Método de la Dilución.
- Determinación de la Conductividad Eléctrica. Método conductímetro.
- Determinaciones de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>. Método del espectrofotómetro de emisión.
- Determinación del Cl<sup>-</sup>. Método de Mohr.

### **3.4.- Evaluación de la calidad de las aguas de riego.**

Los criterios de evaluación para los diferentes parámetros químicos analizados fueron realizados por la NC XXX: 2011.

### **3.5. 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 de agua abarcan un total de 77 pozos, distribuidos 49 en el periodo seco y 28 en el periodo lluvioso.

Tomando en consideración lo planteado por la NC XXX: 2011 que destaca que las aguas aptas para el riego serán las que se ubiquen en las categorías I, II y III y que la estimación general de la categoría se decida por la conductividad eléctrica, los resultados de los pozos muestreados en el periodo octubre-noviembre 2016, indican que todos son representativos de la categoría de calidad II (tabla 8).

Tabla 8. Resultados analíticos de las muestras de agua de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” Octubre-Noviembre 2016.

Mes de muestreo.	Granja.	No. Motor Riego.	Cuenca	pH	C.E. (mS.m <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (mmol.L <sup>-1</sup> )	Sales Solubles Disueltas. (mg.L <sup>-1</sup> )
Oct. 2016	4	25-2	M-III-4	6,96	0,68	0,90	308
Oct. 2016	4	24-3	M-III-4	7,46	0,63	0,90	328
Oct. 2016	4	24-4	M-III-3	6,82	0,61	1,12	312
Oct. 2016	2	33-6	M-III-3	6,99	0,65	0,78	320
Oct. 2016	2	33-4	M-III-3	6,89	0,59	1,12	306
Nov. 2016	3	AG-2-1	M-III-4	6,88	0,58	2,88	260
Nov. 2016	3	AG-3-1	M-III-4	6,90	0,61	2,88	260
Nov. 2016	3	AG-3-2	M-III-4	7,01	0,63	2,75	252
Nov. 2016	4	AG-25-1	M-III-3	6,97	0,62	2,91	248
Nov. 2016	4	AG-39-5	M-III-3	6,94	0,63	2,86	260

Los pozos muestreados en el periodo febrero-marzo 2017, sus aguas son evaluadas en la categoría de calidad I y II, se incluye en este análisis los contenidos obtenidos de sodio (tabla 9).

Tabla 9.- Resultados analíticos de las muestras de agua de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” Febrero-Marzo. 2017.

Granja.	No. Motor Riego.	Cuenca	pH	C.E. (dS.m <sup>-1</sup> )	Na+ (mmol.l <sup>-1</sup> )
3	A-19-3.	M-III-4	7.74	0.491	0,47
3	A-26-1.	M-III-4	7.18	0.476	0.47
3	A-33-2.	M-III-4	7.25	0.326	0.45
3	A-39-5	M-III-4	7.28	0.381	0.41
3	A-33-4	M-III-4	7.32	0.481	0.36
3	A-28-1.	M-III-4	7.54	0.473	0.50
3	A-26-4.	M-III-4	7.60	0.506	0.30
3	A-33-6.	M-III-4	7.30	0.486	0.39
3	A-26-1.	M-III-4	7.79	0.492	0.44
3	A-33-5.	M-III-4	7.47	0.484	0.45
2	J-10-5.	M-III-3	7.23	0.516	0.39
2	J-10-3.	M-III-3	7.58	0.469	0.39
2	J-12-3.	M-III-3	7.38	0.453	0.47
2	J-21-2.	M-III-3	7.14	0.488	0.47
1	T-25-3.	M-III-3	7.54	0.826	0.45
1	T-13-3.	M-III-3	7.10	0.515	0.49
1	T-11-2.	M-III-3	7.08	0.736	0.49
1	T-13-1.	M-III-3	7.02	0.512	0.45
1	T-20-3.	M-III-3	7.41	0.647	0.45
1	T-11-3.	M-III-3	7.14	0.593	0.50
1	T-25-T.	M-III-3	7.33	0.891	0.41
1	T-11-3.	M-III-3	7.16	0.470	0.37
1	T-20-3.Trinchera	M-III-3	7.24	0.695	2.89
1	T-20-1.	M-III-3	7.36	0.576	0.37
1	T-10-2.	M-III-3	7.16	0.753	0.44
1	T-25-T.Trinchera.	M-III-3	7.33	0.876	2.89
1	T-21-3.Trinchera.	M-III-3	7.23	0.760	2.86
1	T-10-2.	M-III-3	7.22	0.510	0.50
1	T-28-4.	M-III-3	7.27	0.671	0.47

Los pozos muestreados en el periodo mayo-junio 2017, muestran el mismo comportamiento del periodo anterior, es decir, calidad del agua en las categorías I y II (tabla 10).

Tabla 10.- Resultados analíticos de las muestras de agua de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” Mayo-Junio. 2017.

Granja.	No. Motor Riego.	Cuenca	pH	C.E. (dS.m <sup>-1</sup> )	Na+ (mmol.l <sup>-1</sup> )
1	T.21-3 (Trinchera)	M-III-3	7.49	0.757	2.49
1	T.21-T (Trinchera)	M-III-3	7.65	0.901	3.60
1	T.20-3 (Trinchera)	M-III-3	7.57	0.752	2.49
2	Lote T-8. Motor 1	M-III-3	7.31	0.550	0.50
2	Lote T-17. Motor 4	M-III-3	7.34	0.526	0.47
2	Lote T-17. Motor 3	M-III-3	7.51	0.428	0.41
2	Lote T-9. Motor 4	M-III-3	7.30	0.535	0.39
2	Lote T-17. Motor 1	M-III-3	7.32	0.534	0.39
2	AG-20-1 UEB-3	M-III-3	7.42	0.498	0.45
2	AG-26-2 UEB-3	M-III-3	7.84	0.483	0.49
2	AG-26-4 UEB-3	M-III-3	7.87	0.484	0.49
2	VIVERO.AG	M-III-3	8.2	0.429	0.47
2	AG-39-5	M-III-3	7.43	0.340	0.44
2	AG-33-5	M-III-3	7.47	0.468	0.45
2	AG-33-4 VIVERO.	M-III-3	7.49	0.485	0.45
2	AG-33-6	M-III-3	7.47	0.482	0.44
5	J-41-1	M-III-4	7.31	0.507	0.40
5	J-21-2.	M-III-4	7.36	0.492	0.36

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

Las precipitaciones promedios en los años 1972-2016 se presentan en la tabla 11, 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. Los aportes por las precipitaciones son capaces por el momento de suplir las extracciones por concepto de riego.

Tabla 11. 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
<b>Promedio Total</b>	<b>39,99</b>	<b>45,28</b>	<b>48,08</b>	<b>69,47</b>	<b>201,51</b>	<b>282,02</b>	<b>217,23</b>	<b>220,05</b>	<b>244,48</b>	<b>148,37</b>	<b>52,38</b>	<b>33,08</b>	<b>1601,9</b>

## **5. CONCLUSIONES.**

1. La calidad de las aguas con que se riega es apta para ese fin, estando comprendida entre las categorías I y II de la NC XXX: 2011.
2. El promedio anual de las precipitaciones mensuales ocurridas en el periodo 1972-2016 fue de 1 601,94 mm.

## **6. RECOMENDACIONES**

1. Ante la inminente influencia del cambio climático, la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” deberá monitorear la calidad de las aguas de riego utilizadas para sus cultivos.

## 7. BIBLIOGRAFIA.

Anejo VI. 2012. Calidad del agua de riego [en línea]. Disponible en: [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Proyectos/AntonioJimenez/08-Anejo6.PDF](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioJimenez/08-Anejo6.PDF).

[Consulta: enero, 10 2018].

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.

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

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](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, 19 2017].

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.

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, 2 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](http://dima.chapingo.mx/revista/Vol_6_n_2_2016/pdf/IA05216.pdf). [Consulta: enero, 10 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.

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.; 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: febrero, 18 2017].

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

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

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](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R017_%20Medida%20de%20la%20salinidad%20de%20un%20suelo.pdf). [Consulta: mayo, 7 2017].

Intrusión salina. 2011. [en línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Suelo\\_salino](https://es.wikipedia.org/wiki/Suelo_salino). [Consulta: mayo, 7 2017].

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

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](http://www.agricoles.org/repositori/documents/noticies/ca/2011%20noviembre-%20ETSIA%20Lerida_Manejo%20suelos,%20salin%20y%20sodif.pdf).

[Consulta: enero, 10 2018].

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

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, 15 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, 22 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, 22 2017].

Lección 23. 2010. [en línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/117419303/Procesos-de-salinizacion>. [Consulta: noviembre, 15 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.

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.

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: marzo, 18 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](http://www.gatfertilizados.com/salinidad_cultivos.pdf). [Consulta: marzo, 18 2017].

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

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.

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

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.