



Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Agropecuarias



Ajuste de las normas netas de riego del naranjo (*Citrus sinensis* L.Osb.), en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” de Jagüey Grande.

Tesis en opción al título de Especialista en Fruticultura Tropical

Autor: Ing. Osmay Pérez Garriga.

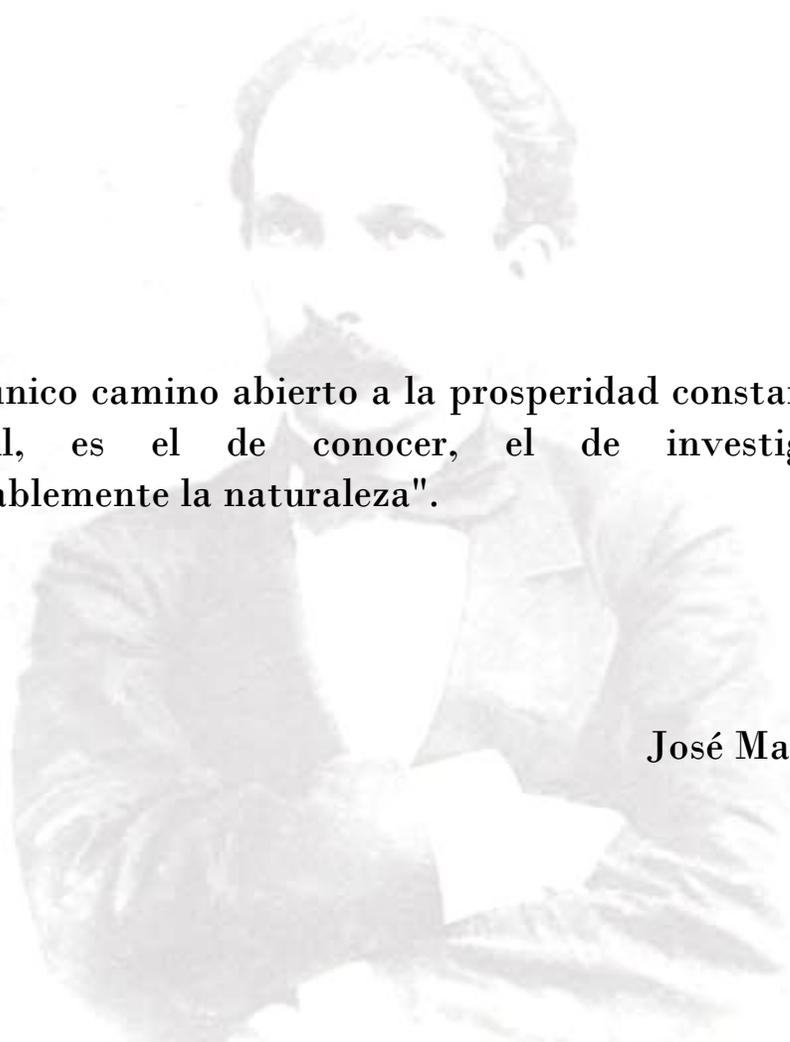
Tutor: M. Sc. Yunier Sosa Sánchez

Matanzas, 2022

PENSAMIENTO

..."El único camino abierto a la prosperidad constante y fácil, es el de conocer, el de investigar infatigablemente la naturaleza".

José Martí.



DEDICATORIA.

Quisiera dedicarle esta tesis a mi familia. En primer lugar, a mis hijos, por ser mi mayor y única fortuna; a mis padres, que han estado a mi lado toda la vida compartiendo los buenos y malos momentos y me han guiado por el sendero de la vida y a mis hermanos por el regalo de su existencia.

AGRADECIMIENTOS.

- Quiero agradecerle a Dios, en primer lugar, por darme la sabiduría para ser hoy un buen profesional.
- A mi tutor M. Sc. Yunier Sosa Sánchez, por su apoyo incondicional, sin el cual no hubiera sido posible la realización de esta investigación. Por guiarme y siempre tener la mejor disposición le estaré eternamente agradecido.
- A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo y en general al curso de esta Maestría.
- A mis profesores de la Universidad de Matanzas y de la UCTB de Jagüey Grande.
- A mis padres y mis hermanos por su apoyo para llevar a cabo estos estudios.
- A todos mis compañeros de trabajo los cuales aprecio mucho y que de una forma u otra han colaborado con estos estudios.
- A mis compañeros de aula de la maestría quienes me hicieron recordar los gratos días de la Universidad y vivir una nueva experiencia de amistad en colectivo.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

RESUMEN

Se presentan los resultados sobre las necesidades hídricas del naranjo en un suelo Ferralítico Rojo típico de Jagüey Grande, provincia de Matanzas, cuyo objetivo fue justar las normas netas utilizadas en la programación de riego del cultivo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” de Jagüey Grande, provincia Matanzas. Se utilizó como herramienta el programa computacional CROPWAT, en el cual se hicieron corridas desde el año 2000 hasta el 2019. Los datos climáticos utilizados se tomaron de la estación meteorológica de Jagüey Grande y de la base de datos del Centro Meteorológico Provincial. Los resultados de la caracterización climática mostraron que los valores de evapotranspiración de referencia (ET_o) más bajos en el período, correspondieron a los meses de diciembre y enero con 2,84 y 2,88 mm día⁻¹ respectivamente. Los valores más elevados de ET_o se encontraron entre los meses de abril y agosto (4,59 - 4,91 mm día⁻¹). El comportamiento de las precipitaciones tuvo una tendencia a la disminución durante el período evaluado, haciéndose más evidente a partir del 2009, donde cuatro años presentaron valores inferiores a los totales anuales de ET_o. Los estudios del cultivo mostraron un escaso desarrollo del sistema radical activo, con una media de 0,38 m de profundidad y una altura promedio de las plantas de 3,01 m. En cuanto a la estimación de las normas netas totales para la campaña de riego del naranjo, se encontró que las mismas tienen valores inferiores a las que hoy se utilizan en Jagüey Grande con una disminución de 194 m³ ha⁻¹ (9%), que representó un decrecimiento del volumen total de agua y del consumo energético para la campaña de riego valorado en 228,825 miles de CUP.

INDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. El uso del agua en la agricultura.	3
2.2. Necesidades de agua de los cultivos	4
2.2.1. Evapotranspiración de referencia.	4
2.2.2. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar	6
2.2.3. Coeficientes del Cultivo.	6
2.2.3.1. Coeficiente único del cultivo (Kc).	6
2.2.3.2. Coeficiente dual del cultivo (Kcb).	7
2.2.4. Necesidades netas de riego	8
2.2.4.1. Precipitación efectiva	8
2.3. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua hacia el futuro.	10
2.4. Impactos del cambio climático en el sector agrícola	10
2.5. El uso de herramientas computacionales aplicadas al riego	12
2.5.1. CROPWAT	13
2.6. El cultivo de los cítricos en el mundo y en Cuba. Importancia	13
2.7. Exigencias agrometeorológicas del cultivo de los cítricos.	14
2.7.1 Suelos	14
2.7.2. Condiciones climáticas	15
2.7.3. Demanda hídrica	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Condiciones generales, y descripción de la zona de estudio de las necesidades hídricas del naranjo.	19
3.2. Diseño Experimental.	20
3.3. Evaluación de los parametros del clima y del cultivo en Jagüey Grande en el período 2000-2019 para el ajuste de las normas netas del naranjo	20
3.3.1. Programa CROPWAT	21
3.3.1.1. Módulo Clima/ETo	22
3.3.1.2. Módulo de precipitaciones	22
3.3.1.3. Módulo de cultivo	23
3.3.1.4. Módulo de suelo	23

3.3.2. Determinación del crecimiento vertical del sistema radical activo del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.	24
3.3.3. Determinación de la altura de las plantas de naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.	24
3.4. Comparación de las normas netas totales de riego estimadas con las aplicadas actualmente en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”	25
3.5. Análisis económico del ajuste de los parámetros que definen las necesidades hídricas del naranjo.	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Evaluación de las variables del clima y del cultivo en Jagüey Grande en el período 2000-2019 para el ajuste de las normas de riego del naranjo.	27
4.1.1. Caracterización de la evapotranspiración de referencia (ET _o) en Jagüey Grande en el período 2000-2019	27
4.1.2. Análisis de la precipitación real y efectiva en Jagüey Grande en el período 2000-2019.	28
4.1.3 Relación entre la evapotranspiración de referencia (E _{to}) y las precipitaciones en Jagüey Grande en el período 2000-2019.	31
4.1.4. Determinación del crecimiento vertical del sistema radical activo del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.	32
4.1.5. Determinación de la altura de las plantas de pomelo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”	34
4.2. Comparación de las normas netas de riego estimadas con las aplicadas actualmente en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.	36
4.3. Evaluación económica del ajuste de los parámetros que definen las necesidades hídricas del naranjo.	39
5. CONCLUSIONES	42
6. RECOMENDACIONES	43
7. BIBIOGRAFÍA	44

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de los cítricos se ha distribuido ampliamente por regiones tropicales y subtropicales del mundo, representando una vía importante para diversificar la economía de diferentes naciones, con la obtención de ganancias que respaldan el continuo crecimiento de la producción y la exportación, a partir de la comercialización de frutos frescos y subproductos (Procolombia, 2021).

El riego es una de las labores agrotécnicas de mayor importancia para obtener cosechas rentables y una mejora en la calidad de los frutos cítricos ya que evita el estrés hídrico que expresa el cultivo cuando el agua aportada por las precipitaciones es inferior a la evapotranspiración del mismo (Garzón, 2012).

En Cuba, una de las empresas más importantes dedicada al cultivo de los cítricos es la “Victoria de Girón” de Jagüey Grande en la provincia de Matanzas. Es una de las empresas más desarrolladas en cuanto a su cadena agro-industrial, logrando tener desde sus viveros hasta su combinado industrial para la producción de jugos y frigorífico propio (Anaya *et al.*, 2016).

Dicha entidad productiva cuenta con unas 4 500 ha plantadas de diferentes especies cítricas, de las cuales unas 1 900 están dedicadas al cultivo de la naranja. La programación de riego que se utiliza para esta especie en el territorio se implementó hace más de tres décadas, bajo condiciones climáticas y agrotécnicas diferentes de las actuales.

Por tal motivo, y por lo que esto implica para la conservación del medio ambiente teniendo en cuenta la variabilidad y el cambio climático acontecido en las últimas décadas, es preciso realizar una actualización de los parámetros que rigen las necesidades hídricas del naranjo a las condiciones agrometeorológicas actuales y futuras que predicen una reducción de las precipitaciones anuales en relación con el aumento de la evapotranspiración de referencia en Cuba, según Duarte *et al.* (2017 y 2018).

Para dar respuesta a esta situación se plantea el siguiente **problema científico**:
¿Cómo contribuir al ajuste de las normas netas utilizadas en la programación de riego del naranjo (*Citrus sinensis* L.Osb.) en la actualidad en la Empresa Agroindustrial

“Victoria de Girón” de Jagüey Grande para mejorar la eficiencia en el uso del agua de riego y garantizar la conservación del medio ambiente?

A partir de este problema se formuló la siguiente **hipótesis**: Si se ajustan las normas netas utilizadas en la actualidad para el riego del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” de Jagüey Grande, entonces se podrá garantizar una mayor eficiencia en el uso del agua de riego y la conservación del medio ambiente.

Objetivos

Objetivo general

Ajustar las normas netas utilizadas en la programación de riego del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” de Jagüey Grande.

Objetivos específicos

- Evaluar las variables del clima y del cultivo que influyen en los requerimientos hídricos del naranjo en Jagüey Grande en el período 2000-2019.
- Comparar las normas netas totales de riego estimadas con las aplicadas actualmente en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.
- Analizar los costos asociados al ajuste de las normas netas utilizadas en la programación de riego del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El uso del agua en la agricultura.

La comunidad internacional está insistentemente analizando y siguiendo los modelos de consumo del agua en la agricultura y su correspondiente asignación y eficiencia en el uso. Los aproximadamente 1 260 millones de hectáreas bajo agricultura de secano (correspondientes a un 80% del total de la tierra cultivada del mundo) suministran el 60% de la alimentación del mundo mientras que los 277 millones de hectáreas bajo riego (el restante 20% de tierra cultivada) contribuye con el otro 40% de los suministros de alimentos. En promedio, los rendimientos por unidad de superficie cultivada son 2,3 veces más altos en el área regada que en las áreas de secano. Estas cifras demuestran la importancia de la agricultura de regadío en la producción mundial de alimentos y la necesidad de introducir mejoras en los sistemas para lograr un mejor aprovechamiento del agua (Garcés *et al.*, 2008).

La agricultura es el mayor consumidor de agua en el planeta, en términos de porcentaje, en la figura 1, la agricultura representa un valor considerablemente mayor (68%). De ahí la importancia que tiene desarrollar el riego con la mayor eficiencia posible.

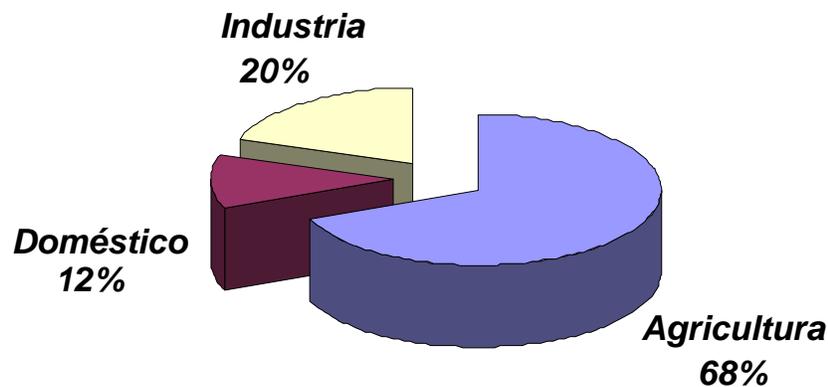


Figura 1. Uso del agua en el mundo (UN World Water Development Report).

Generalmente los altos consumos de agua en la agricultura son causados por la sobreirrigación, lo que no sólo genera un derroche de agua, sino que dicha ineficiencia finalmente conlleva a pérdidas de fertilizantes nitrogenados y posterior contaminación de los acuíferos subterráneos por lixiviación de estos. Además la alta variabilidad espacial en las condiciones físicas del suelo se traducen en un reparto desigual de agua de riego aplicada en el predio, problema que generalmente no es considerado

tanto para el diseño de nuevas obras de riego (aspersión, goteo y riego superficial) como en las ya existentes (Castro *et al.*, 2008).

En Cuba las principales causas que originan estas situaciones se relacionan con la mecanización masiva del riego, mediante la extensión de las máquinas de pivote central y otras técnicas, que aunque logran elevadas productividades, comparadas con áreas regadas por hombres, muestran signos de poca efectividad agrícola y baja eficiencia en el uso del agua, relacionada esto a su vez, con un empleo incorrecto y el desconocimiento del modo de operar estas tecnologías (Cisneros *et al.*, 2011).

Para lograr que la agricultura bajo riego contribuya al uso sostenible del agua será necesario reducir los volúmenes aplicados a los cultivos, basados en los métodos de programación de riego. El fin perseguido es, además de incrementar los niveles de producción, propiciar un ahorro del agua empleada en cada riego, con el mínimo riesgo de contaminación al ambiente (MINAG, 2018).

Varios autores como Pacheco *et al.* (2012) y Zhang *et al.* (2018), resaltan la importancia de la correcta determinación de las necesidades de agua de los cultivos con el empleo de las nuevas tecnologías de la información y la ciencia, por el ahorro de agua que estas presuponen.

2.2. Necesidades de agua de los cultivos.

Para una agricultura como la de Cuba, con un clima típicamente tropical, cuyo suministro principal de agua (las precipitaciones) se encuentra sometido a grandes variaciones y donde la siembra de los cultivos de ciclo corto o temporales en la mayoría de los casos coincide con la temporada seca, el riego constituye una actividad agrícola vital para la supervivencia de los cultivos, la estabilización de la producción y la obtención de altos rendimientos (Chaterlán, 2012).

Para obtener adecuados requerimientos de agua en los cultivos es necesario conocer dos definiciones fundamentales, pero distintas, de necesidades hídricas: Evapotranspiración y necesidades netas de riego de los cultivos.

2.2.1. Evapotranspiración de referencia.

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia,

y se denomina ETo. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo (FAO, 2006).

Muchos han sido los trabajos publicados desde principios del pasado siglo que presentaban métodos más o menos empíricos desarrollados en diferentes partes del mundo con el objetivo de estimar la evapotranspiración a partir de diferentes variables climáticas (Chaterlán, 2012).

Como resultado de una consulta de expertos realizada en mayo de 1990, el método de FAO Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia. El método de FAO Penman-Monteith requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento (FAO, 2006).

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 sm^{-1} y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado (FAO, 2006).

La ecuación de Penman, modificada por la FAO, estima el uso consuntivo del cultivo de referencia (pasto o grama) y predice la ETo, no solamente en las regiones frías y húmedas sino también, en las zonas calientes y áridas (Velarde, 2004).

La ecuación es la siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

ET _o	evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹)
R _n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _s	radiación extraterrestre (mm día ⁻¹)
G	flujo del calor de suelo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u ₂	velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹)
e _s	presión de vapor de saturación (kPa)
e _a	presión real de vapor (kPa)
e _s - e _a	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)

2.2.2. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes (FAO, 2006).

El cálculo de la evapotranspiración de cultivo se realiza mediante la siguiente ecuación: Etc.= Kc x ETo

Dónde:

ET_c: evapotranspiración del cultivo (mm* d⁻¹)

Kc: coeficiente del cultivo (adimensional)

ET_o: evapotranspiración del cultivo de referencia (mm* d⁻¹)

2.2.3. Coeficientes del Cultivo.

2.2.3.1. Coeficiente único del cultivo (Kc).

Este coeficiente expresa la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la de la superficie del pasto de referencia. Como la evaporación en el suelo puede fluctuar

diariamente como resultado de la lluvia o el riego, el coeficiente único del cultivo es solamente una expresión de los efectos promedios en el tiempo (múltiples días), de la evapotranspiración del cultivo (FAO, 2006).

Durante el periodo de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial (K_c ini), la etapa de mediados de temporada (K_c med) y la etapa final (K_c fin) (FAO, 2006).

Según Velarde (2004) el coeficiente de cultivo K_c , depende de las características anatomorfológicas y fisiológicas de la especie y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante el ciclo vegetativo. La especie vegetal y el tamaño de la planta representada por su volumen foliar y radical, gobierna el coeficiente K_c .

Para el cálculo del mismo, la FAO recomienda dividir el ciclo del cultivo en cuatro fases fenológicas: a) inicial, desde la siembra otras plantas del cultivo hasta que éste cubre aproximadamente un 10% de la superficie del suelo; b) desarrollo, desde el fin de la fase inicial hasta que el cultivo cubre aproximadamente un 70-80% del suelo (es decir, hasta que se alcance una cobertura efectiva del suelo); c) mediados, desde el fin de la fase de desarrollo hasta que el cultivo muestra los primeros síntomas de senescencia y d) final, desde el final del a fase de mediados hasta que se alcanza la madurez fisiológica del cultivo o, en cultivos hortícolas, hasta la fecha de cosecha (Cob, 2004).

2.2.3.2. Coeficiente dual del cultivo (K_{cb}).

La determinación del coeficiente dual del cultivo (K_{cb}) es más detallada y precisa más cálculos que la del coeficiente único del cultivo (K_c) y tiene su basamento en la ecuación formulada por Allen *et al.* (1998).

$$K_c = K_{cb} + K_e$$

Dónde: K_c es el coeficiente cultural (adimensional); K_{cb} es el coeficiente basal del cultivo y K_e coeficiente de evaporación de agua en el suelo.

El coeficiente basal del cultivo (K_{cb}) se define por estos autores como la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia (ET_c/ET_o) cuando la superficie del suelo se encuentra seca, pero el contenido de agua en el suelo en la zona radical es adecuado para mantener la plena transpiración del cultivo.

Para este enfoque, el procedimiento de cálculo de la evapotranspiración del cultivo, ET_c , comprende varias etapas: lo primero es la identificación de la duración de las fases de desarrollo del cultivo y selección de los valores de K_{cb} correspondientes; posteriormente se deben ajustar los valores de los coeficientes K_{cb} seleccionados, de acuerdo a las condiciones climáticas de cada etapa del cultivo y a partir de estos construir la curva del coeficiente basal del cultivo. Por otra parte se deben determinar los valores diarios de K_e para la evaporación desde la superficie del suelo y por último calcular la ET_c a partir de la ecuación siguiente (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = (K_{cb} + K_e)ET_o$$

2.2.4. Necesidades netas de riego.

La evapotranspiración de un cultivo constituye el volumen de agua que el mismo necesita para su desarrollo óptimo. Parte de ese volumen debe ser suministrado por el riego y se conoce como necesidades netas de riego (NR_n) (Cob, 2004).

Uno de los principales problemas del regante es conocer la cantidad de agua que tiene que aplicar a un campo para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos; en otras palabras, es preciso determinar el agua de riego necesaria (Brouwer, 1987).

Según Cob (2004) las NR_n se calculan como la diferencia entre la evapotranspiración de cultivo (Etc) y los aportes naturales de agua (Ap_n):

$$NR_n = Etc - Ap_n$$

Donde todos los términos de esta ecuación se expresan en mm por unidad de tiempo (día, semana, mes, etc.).

2.2.4.1. Precipitación efectiva.

La precipitación efectiva es la proporción de agua procedente de la precipitación que se almacena en el suelo para satisfacer las necesidades hídricas brutas de los cultivos (Cob, 2004).

Existen distintos métodos para la estimación de la precipitación efectiva que comprende desde períodos semanales hasta decenales e incluso mensuales. Un ejemplo de método para el cálculo de la precipitación es el USDA SCS (P).

$$Pe = Pt (125 - 0.2 Pt / 125) \text{ para } Pt < 250 \text{ mm}$$

$$Pe = 125 + 0.1 Pt \text{ para } Pt > 250 \text{ mm}$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectiva (mm)

Pt: Precipitación (diaria, mensual o anual) (mm)

Existen diversos factores que determinan la cantidad de precipitación efectiva (Tabla 1). Hay algunos de ellos sobre los que el agricultor no puede influir (el clima y la textura del suelo) y otros sobre los que sí puede hacerlo (la estructura del suelo) (Brouwer, 1987).

Tabla 1. Factores que influyen en la precipitación efectiva mediante la infiltración, la escorrentía superficial y la evapotranspiración (FAO, 1974).

Factor	Características pertinentes
Lluvia	Cantidad, intensidad, frecuencia, distribución en la zona y en el tiempo.
Otros parámetros meteorológicos	Temperatura, radiación, humedad relativa, velocidad del viento.
Terreno	Topografía, pendiente, tipo de uso.
Suelo	Profundidad, textura, estructura, densidad aparente del suelo, contenido de sal y de materia orgánica.
Agua del suelo	Altura piezométrica, material en suspensión, turbiedad debida a arcilla o a coloides, viscosidad, temperatura, naturaleza de las sales disueltas (Na ⁺ , NO ₃).
Agua subterránea	Profundidad desde la superficie, calidad.
Administración	Tipo de labranza, grado de nivelación, tipo de disposición, (dique, terrazas, camellones), uso de acondicionadores del suelo.
Cauce	Tamaño, inclinación, forma, aspereza y efecto del remanso.
Cultivos	Naturaleza de los cultivos, profundidad del sistema de raíces, grado de la cubierta terrestre, fase del crecimiento, rotación de cultivos.

2.3. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua hacia el futuro.

El cambio climático afecta a la rapidez de recarga de las aguas subterráneas y al espesor de las masas freáticas. Sin embargo, no es mucho lo que se sabe sobre la recarga y los niveles actuales, tanto para los países desarrollados como en desarrollo; además, ha habido muy pocas investigaciones sobre el impacto futuro del cambio climático sobre las aguas subterráneas, o sobre las interacciones entre el agua subterránea y el agua superficial (Valdés, 2017).

Los principales factores climáticos que determinan la disponibilidad de agua son la precipitación, la temperatura y la demanda evaporativa (determinada por la radiación neta en la superficie del terreno, la humedad atmosférica, la velocidad del viento y la temperatura). Una mayor variabilidad de la precipitación podría reducir la recarga freática en áreas húmedas, dado que una mayor asiduidad de la precipitación intensa podría rebasar con mayor frecuencia la capacidad de infiltración del suelo (Verdecia, 2016).

Varios autores predicen que en el futuro las precipitaciones serán insuficientes para satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera a nivel global, como consecuencia del incremento de las temperaturas, lo que, sin lugar a dudas, afectará la disponibilidad de agua para el sector agrícola (Valdés 2017; Ezatollah y Marzieh 2018; Malek *et al.*, 2018 y Duarte *et al.*, 2020). En este sentido será preciso la búsqueda de alternativas sostenibles para la adaptación al cambio climático, minimizando su impacto en la agricultura, los recursos naturales y la salud humana.

2.4. Impactos del cambio climático en el sector agrícola.

El cambio climático acontecido en las últimas décadas y con tendencia a una continua evolución es un fenómeno que afecta al sector agrícola. Como consecuencia de su impacto hacia el futuro, la agricultura se desenvolverá en un ambiente afectado por el aumento de la frecuencia e intensidad de las sequías, la aridización del clima, la disminución de la evapotranspiración real de los ecosistemas y un pronunciado déficit hídrico (Hijmans *et al.*, 2005; Cruz, 2014; Iñiguez *et al.*, 2015; Rivero *et al.*, 2015; Ezatollah y Marzieh, 2018; Malek *et al.*, 2018).

Muchos científicos han señalado que como resultado de las alteraciones climatológicas ocurrirán las siguientes afectaciones el incremento de la temperatura media, el cambio en la cantidad y distribución de la lluvia, el incremento de la concentración de dióxido

de carbono atmosférico, niveles de polución tales como el ozono troposférico y la ocurrencia de eventos extremos, como tsunamis y huracanes (Cruz, 2014; Gutiérrez *et al.*, 2014).

UN (2020), plantea que las mayores consecuencias del cambio climático para la agricultura se producirán en gran parte de las zonas tropicales donde se halla la mayor parte de los países en vías de desarrollo.

En nuestro país existe un importante grupo de programas nacionales sectoriales que contribuyen a la adaptación al cambio climático. Los más importantes son: Programa Forestal Nacional, Programa de Uso Racional y Ahorro del Agua, Programa de Mejoramiento y Conservación de los Suelos, Programa de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (basado en el Manejo Sostenible de Tierras), Programa de Lucha contra Vectores Transmisores de Enfermedades, que incluye las especies exóticas invasoras, entre otros (Rivero *et al.*, 2015).

Además, y con el mismo propósito, se están desarrollando un conjunto de proyectos en la esfera medioambiental, con financiamiento internacional, entre ellos: Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local BASAL (COSUDE, PNUD, Unión Europea); Ecosistema Sabana Camagüey (FMAM, PNUD); Manejo Sostenible de Tierras (FMAM, PNUD, FAO, PNUMA); Prevención, Gestión y Control de Especies Exóticas (FMAM, PNUD); Conservación de Ecosistemas Montañosos Amenazados (FMAM, PNUD) (Rivero *et al.*, 2015).

La degradación de los suelos, con una evidente expresión en la pérdida de rendimientos agrícolas, constituye uno de los principales problemas ambientales que enfrenta hoy el país. Los procesos erosivos afectan a 2,5 MM ha de suelos, el alto grado de acidez alcanza alrededor de 3,4 MM ha, la elevada salinidad y sodicidad se manifiesta en alrededor de un millón de ha, la compactación incide sobre 2,5 MM ha y los problemas de drenaje alcanzan 2,7 MM ha. La más reciente evaluación de las tierras del país para 29 cultivos de interés, reportó que el 65% de los suelos están por debajo del 50% de su rendimiento potencial. Los estudios agroquímicos realizados en los últimos años en áreas de cultivo de importancia económica han evidenciado que la mayoría de los suelos cubanos poseen bajo contenido de nutrientes, alta tendencia a la acidez y una drástica reducción de la materia orgánica (Rivero *et al.*, 2015).

Según (Febles, 2009) la esfera agropecuaria en Cuba tuvo afectaciones notables, sobre todo en las zonas orientales del país. Por ejemplo, en la provincia de Granma, entre 2003 y 2004, el Ministerio de la Agricultura perdió cerca de 82 millones de pesos debido a la sequía. En el año 2004, las pérdidas fueron de más de 32 000 cabezas de ganado, que incluyeron aproximadamente 10 000 cabezas de ganado bovino, para un déficit de 5 millones de litros de leche. En este mismo año se dejaron de producir más de 6 millones de alevines y se secaron más de 80 estanques acuícolas. En general, se perdieron más de 21 millones de peso en la agricultura y el azúcar. En Santiago de Cuba se afectaron aproximadamente 3 000 ha de siembra. Estos ejemplos, entre otros, son suficientes para demostrar la situación por la que atraviesa la ganadería y la agricultura cubana.

2.5. El uso de herramientas computacionales aplicadas al riego.

La programación de riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de agua a aplicar en cada período fenológico del cultivo, de acuerdo a las interacciones específicas de suelo, planta y clima; las cuales actualmente son integradas a través de modelos biomatemáticos que se desarrollan mediante el uso de herramientas computacionales (Tarjuelo, 2005).

Los programas de computación disponibles cada vez son más utilizados, van aumentando sus prestaciones y potencialidad para el análisis de datos, a la vez que son más amigables para el usuario (Mena *et al.*, 2007).

Por los beneficios que aportan estas herramientas computacionales, especialistas de la Universidad Agraria de La Habana, del Instituto de Investigaciones en Ingeniería Agrícola y el de Investigaciones de la Caña de Azúcar, elaboraron los primeros trabajos para utilizar en nuestras condiciones geográficas cinco de los modelos agrohidrológicos de alcance internacional (Hernández *et al.*, 2009).

Por primera vez en el país, se ofrecen los parámetros que describen las propiedades hidráulicas para los principales grupos de suelos cubanos. Esta investigación le confiere validez al modelo Swcrop para ser utilizado en el cultivo de la papa en condiciones tropicales (Hernández *et al.*, 2009).

También se obtiene una versión del modelo Swap para la caña de azúcar. Este predice los daños que puedan originarse por cambios climáticos, características del suelo y fecha apropiada para la siembra (Hernández *et al.*, 2009).

López *et al.* (2001) realizaron trabajos con los modelos de simulación (STIC y MACRO) con el objetivo de resumir y discutir sus características y posibilidades para la predicción del comportamiento de los cultivos agrícolas ante diferentes manejos de agua, fertilización y ambientes climáticos. Chaterlán (2007), desarrolló una investigación para calibrar y validar el modelo ISAREG, con el fin de obtener los coeficientes de cultivo (Kc) y la fracción de agotamiento (p) adecuada para el cultivo de la cebolla.

2.5.1. CROPWAT

CROPWAT 8.0, *para Windows* es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos con base en datos climáticos, fenológicos y edafológicos. Además, permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para distintos patrones de cultivos. Está basado en las metodologías descritas en los boletines 56, 33 y 24 de la serie Riego y Drenaje de la FAO, y ha sido utilizado en banano por Cigales y Pérez (2011). En otros cultivos por Verdecia (2016), Valdés (2017) y Duarte *et al.* (2017).

Este modelo además estima la reducción del rendimiento por estrés hídrico y se expresa como un porcentaje de la producción máxima alcanzable en la zona en condiciones óptimas. Todas las versiones operan bajo el concepto de evapotranspiración de referencia calculada mediante el método de Penman-Monteith FAO y la versión ocho ofrece la posibilidad de ingresar el valor de evapotranspiración por los métodos recomendados en Allen *et al.* (2006).

2.6. El cultivo de los cítricos en el mundo y en Cuba. Importancia.

El cultivo de los cítricos se ha distribuido ampliamente por regiones tropicales y subtropicales del mundo, representando una vía importante para diversificar la economía de diferentes naciones, con la obtención de ganancias que respaldan el continuo crecimiento de la producción y la exportación, a partir de la comercialización de frutos frescos y subproductos. Brasil, Estados Unidos y China, acumulan más del

40% de la producción mundial, mientras que Cuba se ubica en el lugar 17 entre los países productores, y junto a los Estados Unidos e Israel entre los principales proveedores de pomelos del mundo (FAO 2003 a,b).

A partir de la década de los sesenta, la citricultura cubana tuvo un crecimiento vertiginoso, la producción representó 662 000 t en una superficie de alrededor de 70 000 ha, existiendo un incremento sustancial de la producción y del área plantada (Cueto, 2009).

En 1990 el área plantada sobrepasó las 140 mil hectáreas y la producción obtenida fue de algo más de un millón de toneladas de frutas con un rendimiento promedio cercano a las 7,0 t.ha⁻¹. En 1991 desapareció el mercado Socialista y como consecuencia del Período Especial, en la campaña 1993-94 la producción se redujo hasta aproximadamente la mitad de la obtenida en 1990 (Cueto, 2009).

En el 2011 estos cultivos cubren una extensión de 45 800 ha, con un rendimiento promedio de 5,35 t.ha⁻¹ y una producción anual de más de 245 000 toneladas de frutas (FAOSTAT, 2011). Estos bajos rendimientos en la producción cítrica se deben, fundamentalmente, al efecto negativo que ejercen los factores climáticos y la alta incidencia de plagas en estos cultivos (Singh y Rajam, 2009).

La sostenibilidad y eficiencia de la agroindustria de este cultivo a nivel mundial está amenazada por la rápida expansión de enfermedades de alto impacto económico. En las últimas tres décadas la situación fitosanitaria se ha visto comprometida por la rápida diseminación de algunas enfermedades tales como cancrrosis, tristeza, leprosis; la introducción en países del área del Caribe de enfermedades y vectores como Huanglongbing (HLB) y su vector *Diaphorina citri* Kuw.; el agravamiento de los efectos de enfermedades como black spot y otras enfermedades producidas por hongos y por viroides, así como la presencia de nuevas enfermedades como clorosis variegada y muerte súbita (Roistacher, 2003), que son tanto o más dañinas que la tristeza en algunos casos y de otras ya conocidas.

2.7. Exigencias agrometeorológicas del cultivo de los cítricos.

2.7.1 Suelos.

En los suelos en general, los cítricos tienen un amplio rango de adaptación, teniendo en cuenta que las propiedades físicas del suelo son tan importantes como las químicas. En

suelos muy arcillosos se dificulta la penetración de las raíces, lo cual impide el desarrollo radicular, generando árboles de bajo porte, fruta pequeña de corteza gruesa y áspera con poco contenido de jugo, pero con mayor contenido de sólidos solubles, lo que provoca una maduración lenta. Los suelos pesados con lenta infiltración del agua no deben dedicarse a este cultivo ya que generalmente están asociados con pudriciones de las raíces causadas por el actinomiceto *Phytophthora sp* (L), y el hongo *Diplodia natalensis* (Polen-evans) (Morales, 2016; Gómez, 2017; Figueredo, 2018).

En suelos limo arenosos, el árbol desarrolla un sistema radicular extenso, copa grande y frutos de corteza delgada, suave, con alto contenido de sólidos solubles, condiciones que ocasionan una maduración rápida. La textura ideal de los suelos para el cultivo de los cítricos está comprendida entre liviana y media (Agustí, 2003).

Otro aspecto importante del suelo para el cultivo de cítricos es la profundidad efectiva, siendo esta la mayor profundidad a que penetran las raíces de los árboles, sin que encuentren obstáculos físicos que impidan su normal crecimiento y desarrollo. Estos obstáculos pueden ser la presencia de rocas o materiales poco meteorizados, que por su dureza impiden físicamente la penetración de la raíz, capas de suelo compactas y un nivel freático a escasa profundidad. Se recomienda que la profundidad de los suelos dedicados al cultivo de los cítricos no sea inferior a 1 m aunque es conveniente que sea de 1,5 m. El pH más conveniente para cítricos está entre 5,5 y 6,5 (Davies y Albrigo, 1994; Giles, 2016; Puente *et al.*, 2017).

2.7.2. Condiciones climáticas.

La mayor producción y mejor calidad de los frutos cítricos se obtiene en zonas donde las temperaturas promedio, oscilan entre 16°C para la temperatura mínima y 30°C para la máxima, con pequeñas variaciones para cada especie y variedad. El proceso de maduración de la fruta respecto a la producción de azúcares, disminución de acidez y el desarrollo del color, alcanzan su mayor eficiencia cuando las variaciones de temperatura diurna y nocturna son amplias. La temperatura también afecta la duración del período comprendido entre la floración y la cosecha de la fruta madura; es más largo en zonas con temperaturas frescas (Betancourt *et al.*, 2006; Aranguren, 2009).

En términos generales, se estima que la cantidad de agua necesaria para un huerto de cítricos oscila entre 9 000 y 12 000 m³ por hectárea por año, lo que equivale a una

precipitación anual de 900 a 1 200 mm, sin embargo, las precipitaciones mayores no son problemáticas siempre y cuando haya un buen drenaje del suelo. Una precipitación más baja o una estación seca definida pequeña o prolongada afectan este cultivo por lo que el riego es fundamental (Davies y Albrigo, 1994; Agustí, 2003).

Se considera que la humedad relativa influye sobre la calidad de la fruta. Los cítricos en regiones donde la humedad relativa es alta, tienden a tener piel más delgada y suave, contienen mayor cantidad de jugo y son de mejor calidad; aunque, en casos extremos, presenta como desventaja el desarrollo de enfermedades fungosas y de algunas plagas (Casamayor, 2018). El rango adecuado de humedad relativa puede considerarse entre 40% y 70% (Agustí, 1998).

Antes de establecer una plantación la velocidad del viento predominante en la zona debe tenerse muy en cuenta, ya que los vientos fuertes provocan deshidratación, roturas de ramas, caída de flores, hojas y frutos, lo que puede evitarse mediante el establecimiento de barreras rompevientos, que pueden ser naturales o artificiales. De ser naturales deberán establecerse previo a la plantación, con árboles de crecimiento vertical, de rápido desarrollo, follaje denso y que no alberguen plagas y enfermedades comunes a los cítricos (MINAG, 2011).

Las altitudes aptas para el cultivo de naranjas para jugo, oscila entre los 500 y 1 200 msnm, mientras que las zonas bajo los 500 m, son muy adecuadas para ciertas especies de cítricos como las toronjas, limones, limas ácidas y algunas mandarinas (Lima *et al.*, 1998).

2.7.3. Demanda hídrica.

Los cítricos necesitan considerables volúmenes de agua para satisfacer sus requerimientos hídricos. La humedad en el entorno debe ser la suficiente como para garantizar una buena cosecha del fruto y para que los árboles no sufran de estrés hídrico.

Cuando el agua aportada por la lluvia es inferior a la evapotranspiración potencial del cultivo es necesario un suministro adicional por medio del riego para obtener cosechas rentables y una mejora en la calidad de los frutos (Garzón, 2012); aunque hay que tener en cuenta, que el estado hídrico de los cítricos no depende exclusivamente del

contenido de agua en el suelo, sino también de las condiciones ambientales, y del estado fenológico del cultivo (De la Rosa *et al.*, 2015).

Se estima que la cantidad de agua necesaria para suplir los requerimientos hídricos de los cítricos puede variar entre los 900 y 1 563 mm bien distribuidos durante todo el año (Koo, 1963; De la Fuente, 2007; Orduz y Fischer, 2007).

En Honduras se utilizan normas netas de 889 mm a 1 219 mm al año (COFRUTCO, 2017), mientras que en la región de Murcia, España, se aplican de 700 a 1 200 mm al año (SIAM, 2018).

Los cítricos son altamente sensibles al estrés hídrico ya que la falta de agua durante el desarrollo del fruto disminuye los rendimientos, y la calidad del fruto. El déficit hídrico en los cítricos constituye un factor limitante del crecimiento del fruto y en general de la producción (Pérez-Pérez *et al.*, 2009). El efecto del déficit de humedad dependerá de la intensidad de la sequía, de la duración de la misma y de la época en que ocurre dentro del ciclo del cultivo (Ballester *et al.*, 2011).

En la mayoría de los cultivares de cítricos el período de máxima sensibilidad a la falta de agua es el de floración y cuajado, seguido del que comprende la fase inicial de crecimiento de los frutos, donde aumenta la caída de frutos y provoca la disminución de la tasa de crecimiento, determinando el tamaño final del mismo (Pérez-Pérez *et al.*, 2010).

El manejo de la humedad del suelo hacia niveles que provoquen un ligero estrés hídrico en las plantas induce en los árboles una precocidad en la maduración de los frutos. Un déficit hídrico moderado durante la acumulación de jugo y maduración puede ser conveniente para realizar cambios internos en la calidad de la fruta, principalmente aumentando el contenido de sólidos solubles y ácidos (Pérez-Pérez *et al.*, 2014).

Dell' Amico *et al.* (2012) reportaron, en mandarina Fortune, que el efecto del estrés hídrico aplicado al final de la fase II del crecimiento del fruto prácticamente no limitó el tamaño, pues se obtuvo mayor diámetro ecuatorial y área de la sección transversal de los frutos con respecto al tratamiento control.

Teniendo en cuenta lo reseñado en este capítulo la producción y calidad de las cosechas cítricas depende, en gran medida, de la disponibilidad de agua a lo largo de su ciclo vegetativo. Por este motivo resulta de vital importancia realizar estudios

periódicos que actualicen las necesidades hídricas del cultivo en cada región donde se encuentre establecido, adecuándolas al escenario climático acontecido en las últimas décadas y a las nuevas condiciones agrotécnicas y fitosanitarias del cultivo. En este sentido es preciso señalar que el incremento de la temperatura media del aire, el cambio en la cantidad y distribución de la lluvia, el incremento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico, por solo mencionar algunas de las transformaciones climáticas actuales, acompañadas de la aparición de enfermedades de alto impacto que afectan la citricultura en nuestros días presuponen variaciones en el régimen de riego de las especies cítricas de mayor interés económico como es el caso del naranjo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Condiciones generales, y descripción de la zona de estudio de las necesidades hídricas del naranjo.

La investigación se realizó en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” en Jagüey Grande, provincia de Matanzas. Los datos de la base experimental de suelo se adquirieron de la dirección de producción de dicha entidad y los del cultivo a partir de investigaciones de campo realizadas en el área de estudio en el último trimestre de 2019 y de la base de datos del historial científico de la Unidad Científico Tecnológica de Base de Jagüey Grande.

Los datos climáticos utilizados, correspondientes al período 2000-2019, se adquirieron de la estación meteorológica de Jagüey Grande, la cual tiene como coordenadas geográficas 22.32⁰ de latitud Norte y 81.08⁰ de longitud Oeste, a una altura de 11 metros sobre el nivel medio del mar y se encuentra ubicada en el perímetro de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”. Además, se utilizó información de la base de datos del Centro Meteorológico Provincial de Matanzas.

El clima de ésta región se caracteriza por una temperatura media anual de 23⁰C, con mínimas de 15,5⁰C y máximas de 33,3⁰C. La precipitación media anual es de 1 607 mm y una humedad relativa media anual de 67%.

Los suelos predominantes son Ferralítico Rojo típico, según la clasificación genética de los suelos de Cuba y catalogados como Ferralsol Rhodic y Nitisol Rhodic en correlación con el World Reference Base (Hernández *et al.*, 2004), con presencia de un relieve llano y con textura arcillosa con arcilla del tipo 1:1 con un buen drenaje en general, además, una porosidad elevada, la capacidad de campo sobre la base del suelo seco fluctúa entre 28 y 36%, mientras que la densidad aparente está entre 1,32 y 1,34 g.cm⁻³. La velocidad de infiltración oscila desde media a alta, registrándose como máxima tasa de infiltración básica de la lluvia 70 mm día⁻¹ (Iglesias, 2006). En general se puede decir que son suelos de buena estructura.

Las evaluaciones del crecimiento del sistema radical y de la altura de las plantas se realizaron en áreas de la Unidad Empresarial Base (UEB) No 1, en una plantación de naranjo ‘Valencia’, injertada sobre patrón *Citrus Volkameriana*, de 10 años de edad,

plantada a una distancia de 6x3m, con un sistema de riego localizado por goteo y ubicada en el lote T-14, cuadrante 2, banda A.

Como condiciones para la selección del área se tuvieron en cuenta las más representativas en la empresa para el cultivo del naranjo. Entre ellas se destacan la combinación cultivar patrón, el tipo de suelo, la distancia de plantación y la técnica de riego empleada. Además, la edad de la plantación se eligió teniendo en cuenta aquella donde el cultivo alcanza su máximo potencial productivo en Cuba según MINAG (2017).

3.2. Diseño experimental.

En el desarrollo de esta investigación se evaluaron dos variables que se utilizaron como datos en el módulo de entrada cultivo del programa CROPWAT. Estas variables fueron la profundidad del sistema radical activo y la altura promedio del cultivo del naranjo. Su estudio fue importante ya que la información que se tenía al respecto respondía al uso de técnicas de riego por aspersión, a marcos de plantación más espaciados y a otras combinaciones del cultivar patrón.

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorio con un total de cinco plantas de naranjo 'Valencia', en el área representativa (1 ha) del cultivo en la Empresa.

Para evaluar la altura se seleccionaron 15 plantas en diagonal cruzada en la misma plantación, según el Instructivo técnico para el cultivo y beneficio de los cítricos, (MINAG, 1990).

3.3. Evaluación de los parámetros del clima y del cultivo en Jagüey Grande en el período 2000-2019 para el ajuste de las normas netas del naranjo.

Para el ajuste de las normas netas del naranjo en Jagüey Grande es preciso estudiar el comportamiento de los elementos del clima que influyen en la determinación de la evapotranspiración de referencia (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar), así como la incidencia de las precipitaciones efectivas en el período evaluado. Para ello se utilizó el programa CROPWAT versión 8.0.

Para la determinación de la evapotranspiración de referencia el programa utilizó el método de Penman–Monteith, recomendado por la FAO y descrito en el capítulo anterior.

En el caso de las precipitaciones efectivas el método empleado fue el USDA Soil Conservation Service, para los valores mensuales de precipitación. La fórmula empleada por el programa aparece a continuación, utilizada por ser uno de los métodos más precisos en sus cálculos, según Elizastigue (2018) y Oña (2019) ya que los métodos de Savo y del Servicio de Conservación de Suelos de EE. UU. son los que mejor describen la variación de la lluvia aprovechable al ser comparados con el método del balance hídrico del suelo.

$$Pe = Pt (125 - 0.2 Pt/125) \text{ para } Pt < 250 \text{ mm}$$

$$Pe = 125 + 0.1 Pt \text{ para } Pt > 250 \text{ mm}$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectiva (mm)

Pt: Precipitación (diaria, mensual o anual) (mm)

3.3.1. Programa CROPWAT.

El programa CROPWAT es usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo y suelo, según se necesiten, ya sean existentes en series históricas o medidas en la actualidad.

Para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), CROPWAT requiere de datos de evapotranspiración (ET_o). El programa permite al usuario ingresar valores de evapotranspiración de referencia (ET_o), o ingresar datos individuales de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, para calcular la ET_o aplicando la ecuación de Penman-Monteith.

También son necesarios los datos de precipitación total del área de estudio, para calcular la precipitación efectiva.

Como datos de entrada para el cálculo de los RAC y de la programación de riego el programa necesita datos de cultivos (cultivos no inundados o arroz), y también datos de suelo si el usuario también desea determinar la programación de riego para igual condición.

En la ventana principal de CROPWAT (Figura 2) la barra de módulos está ubicada a la izquierda. Los íconos de la barra de módulos proporcionan acceso directo a los módulos disponibles del programa. La primera vez que se seleccione el botón para

Clima/ETo, Precipitación, Cultivo, Suelo o Patrón de cultivo se abrirá una ventana de entrada de datos para el módulo respectivo.



Figura 2. Plantilla de la ventana principal del programa CROPWAT (Allen *et al.*, 2006).

3.3.1.1. Módulo Clima/ETo

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic sobre el ícono Clima/Eto como ícono en la barra de módulo situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT. Los tipos de datos disponibles en este módulo son:

- ETo Mensual calculada por el método Penman-Monteith
- ETo Decenal calculada por el método Penman-Monteith
- ETo Diaria calculada por el método Penman-Monteith
- Eto medida mensual (utilizada)
- Eto medida decenal
- Eto medida diaria

3.3.1.2. Módulo de precipitaciones.

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic en el icono de precipitación en la barra de módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT. La ventana de datos se abrirá por defecto para ese tipo de datos; es posible cambiar rápidamente a otro tipo de datos utilizando el menú desplegable del icono nuevo en la barra de herramientas. Los tipos de datos disponibles en este módulo son:

- Mensual (utilizado)
- Decenal
- Diarios

3.3.1.3. Módulo de cultivo.

Este módulo se puede seleccionar haciendo clic en el ícono de cultivos en la barra de módulos situada a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT. La ventana de datos se abrirá con el tipo de datos por defecto; es posible cambiar a otro tipo de datos utilizando el menú desplegable. Los tipos de datos disponibles en este módulo son:

- Cultivos diferentes al arroz (utilizado)
- Arroz

El módulo de cultivos es esencialmente para la introducción de datos, requiriéndose datos de cultivo para las diferentes etapas de desarrollo.

El ciclo del cultivo considerado fue de 365 días (60 días etapa inicial, 150 días etapa de desarrollo, 90 días etapa intermedia y 65 días etapa final). La altura promedio del cultivo fue de 3,0 m y la máxima profundidad del sistema radical activo de 0,40 m. Se utilizó un coeficiente de cultivo (K_c) en la etapa inicial de 0,60, en la etapa intermedia de 0,70 y en la etapa final de 0,65, según lo recomendado por el Instructivo técnico para el cultivo y beneficio de los cítricos (MINAG, 1990).

3.3.1.4. Módulo de suelo.

Este módulo es seleccionado haciendo clic en el ícono de suelo en la barra de módulos situados a la izquierda de la ventana principal de CROPWAT.

El módulo de suelo es esencialmente de datos de entrada, que requiere los siguientes parámetros:

- Humedad total disponible del suelo: $211,2 \text{ mm m}^{-1}$, calculada según propiedades del suelo Ferralítico Rojo.
- Índice de infiltración de lluvia máximo: 70 mm h^{-1} , según datos del suelo.
- Máxima profundidad de raíces: 0,40m.
- Agotamiento inicial de humedad del suelo: 0%, al momento del riego.
- Humedad inicial disponible del suelo: $211,2 \text{ mm m}^{-1}$.

3.3.2. Determinación del crecimiento vertical del sistema radical activo del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Se hicieron calicatas (Figura 3) a ambos lados de cada planta, de 3 m de largo, tomando el tronco de la planta como centro, 1,5 m de ancho y 1 m de profundidad y se acondicionó el área previamente a las mediciones.



Figura 3. Muestra de calicatas realizadas en el área de estudio.

Para la evaluación del crecimiento en profundidad de las raíces se utilizó, como guía, la metodología propuesta por Kolesnikov (1972) para el estudio de ésta variable. Se realizaron mediciones en el plano vertical, en el sentido de la hilera y de la calle, con el fin de determinar la profundidad de las raíces cuyo diámetro no sobrepasara los 3 mm, las cuales corresponden al sistema radical activo o de absorción de los cítricos, según Adato y Levinson (1991). Las mismas se realizaron mediante la utilización de una cinta métrica, una regla de madera, de fabricación artesanal y un pie de rey.

3.3.3. Determinación de la altura de las plantas de naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Se realizaron las mediciones correspondientes tomando el suelo como base. Se empleó una escalera para subir hasta el punto más alto de la copa y dos reglas de madera de fabricación artesanal, una graduada y ubicada de manera vertical y la otra sin escala y

situada desde la parte superior de la copa hasta la regla graduada con la utilización de un nivel de burbuja para descartar errores en las mediciones.

Los datos de las mediciones se sometieron a análisis de varianza para determinar la media y los estadígrafos de dispersión de esta variable mediante el programa Statgraphics, versión 5.1.

3.4. Comparación de las normas netas totales de riego estimadas con las aplicadas actualmente en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Se hallaron los promedios mensuales de las normas netas, utilizadas en la Empresa, atendiendo a los distintos marcos de plantación.

Se calcularon los requerimientos hídricos del cultivo del naranjo con la utilización del programa CROPWAT, para el período 2000-2019, en Jagüey Grande. Se utilizó la ecuación de Pearson III (NC 48-75,1984) para determinar la probabilidad de ocurrencia de los mismos.

Se determinaron las normas netas mensuales de riego utilizando el procedimiento descrito con anterioridad mediante el uso de la herramienta computacional CROPWAT y la aplicación de un coeficiente de localización de 0,50; para riego localizado de alta frecuencia, que corresponde al marco de plantación de 6x3m y a un diámetro de la copa de los árboles de 3,0 m, por ser ambos parámetros de los más representativos del cultivo del naranjo en Jagüey Grande y entre los más promisorios para la estrategia de desarrollo de la empresa .

Se compararon las normas netas estimadas con los promedios de las aplicadas actualmente en la Empresa, según el Instructivo técnico para el cultivo y beneficio de los cítricos (MINAG, 2011) y teniendo en cuenta los distintos marcos de plantación empleados para el cultivo del pomelo. Los cálculos se efectuaron mediante el programa Microsoft Excel.

3.5. Análisis económico del ajuste de los parámetros que definen las necesidades hídricas del naranjo.

Para realizar la evaluación económica del ajuste de los parámetros que definen las necesidades hídricas del naranjo se analizó la diferencia del consumo de energía

eléctrica y del recurso agua y su consecuente repercusión en los costos de producción. Los aspectos analizados fueron los siguientes:

Diferencia del volumen de agua para la campaña de riego (m³): Se halló la diferencia entre la norma neta total estimada y la utilizada en la actualidad para el cultivo del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” (m³ ha⁻¹). Este resultado se multiplicó por el área plantada (ha) de esta especie en la etapa de producción en dicha entidad agroproductiva. La expresión empleada fue la siguiente:

$$Vol_{Tot} = (Nn_{est} - Nn_{act}) \times A$$

Costo de la diferencia del volumen de agua para la campaña de riego (CUP): Se utilizó la diferencia del volumen de agua para la campaña de riego calculado anteriormente (m³). Este resultado se multiplicó por el precio del agua (0,008 CUP/m³) como se indica a continuación.

$$Costo_{vol} = Vol \times Precio$$

Costo por diferencia del consumo energético para la campaña de riego (CUP): Se utilizó la potencia instalada (Kw/h) correspondiente al área plantada de naranjo en la etapa de producción en la empresa. Se multiplicó por las horas de bombeo necesarias para garantizar el volumen de agua durante toda la campaña de riego (m³). Este resultado se multiplicó finalmente por el precio unitario del kW (1,93 CUP) para obtener el costo total por concepto de generación eléctrica según lo indica la siguiente ecuación:

$$Costo_{energ} = Pot_{inst} \times H_b \times Precio_{kw}$$

Las horas de bombeo se determinaron dividiendo el volumen de agua (m³) entre el gasto instalado correspondiente al área a regar m³ h⁻¹, según la fórmula:

$$H_b = \frac{Vol_r}{Q_{inst}}$$

Costo total por diferencia de las normas netas estimadas para la campaña de riego (CUP): Para calcular el costo total de la diferencia de las normas netas se sumaron los costos ocasionados por la diferencia del volumen total de agua y de generación de energía eléctrica para la campaña de riego del naranjo en Jagüey Grande. La expresión empleada fue la siguiente:

$$Costo_{Total} = Costo_{VolAgua} + Costo_{energ}$$

Los cálculos y las tablas se realizaron mediante el programa Microsoft Excel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de las variables del clima y del cultivo en Jagüey Grande en el período 2000-2019 para el ajuste de las normas de riego del naranjo.

Para evaluar las variables del clima en Jagüey Grande que influyen en el ajuste de las normas netas del naranjo se realizó la caracterización climática de la región teniendo en cuenta la evolución de la evapotranspiración de referencia y de las precipitaciones en la zona de estudio, así como la relación entre ambos factores.

4.1.1. Caracterización de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en Jagüey Grande en el período 2000-2019.

Una vez realizado el cálculo de la ET_o mediante el programa CROPWAT y procesados los resultados en el programa Excel se analizaron los resultados obtenidos. Como se puede apreciar en la figura 4, los valores promedio de ET_o más bajos en el período evaluado 2,84 y 2,88 mm día⁻¹ corresponden a los meses de diciembre y enero respectivamente. Los valores de ET_o más altos se mostraron en los meses de abril 4,88 mm día⁻¹ y mayo 4,91 mm día⁻¹. El período de mayor demanda evaporativa de la atmósfera fue el comprendido entre los meses de abril y agosto con valores entre 4,58 y 4,91 mm día⁻¹.

Según Solano (2003), el periodo de ocurrencia de los valores medios diarios más altos de evapotranspiración de referencia, de la serie 1975-1999, en Jagüey Grande, transcurre de abril a agosto, con valores de 4,6 mm día⁻¹ en mayo, julio y agosto y un valor máximo en abril de 4,7 mm día⁻¹.

Resultados similares obtuvo Machado (2016) para la zona central del país, quien encontró valores máximos de ET_o en los meses de mayo y julio (4,7mm día⁻¹), igual período de máxima demanda entre abril y agosto (4,5- 4,7mm día⁻¹), y los meses con valores más bajos diciembre y enero respectivamente 2,6 y 2,8 mm día⁻¹.

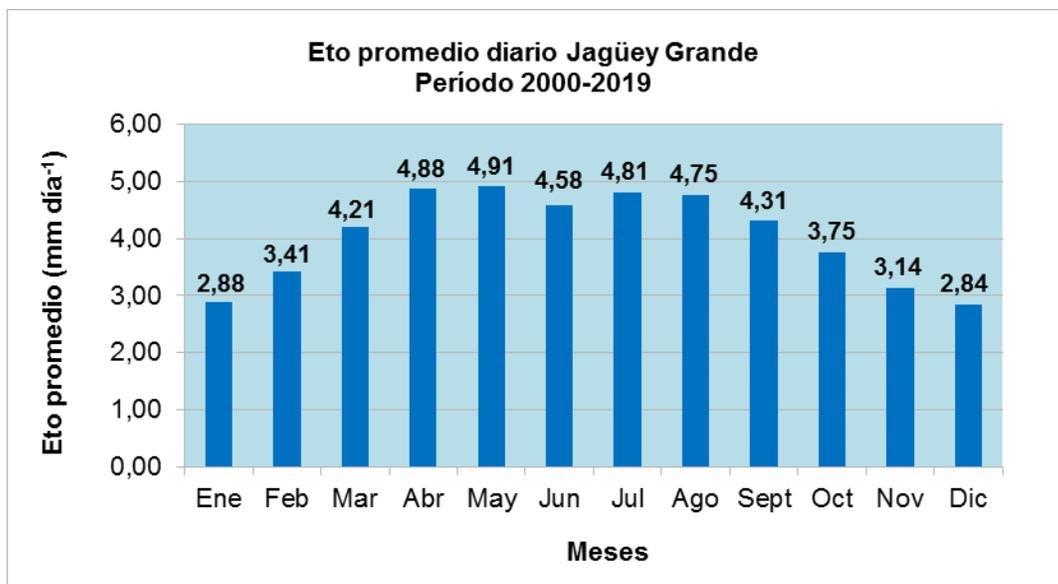


Figura 4. Evolución de la evapotranspiración de referencia (ETo) promedio de Jagüey Grande para el período 2000-2019.

Se aprecia que a partir del mes de abril se elevan los valores de ETo ya que es un mes de tránsito entre el período poco lluvioso y lluvioso en Cuba. Las lluvias frecuentes que comienzan a mediados y finales del mismo, garantizan la humedad del suelo. Además, a partir de este mes se registran los mayores valores de temperatura media del aire, factores que se combinan para propiciar condiciones favorables para los procesos de evaporación y transpiración de las plantas.

Los meses comprendidos entre noviembre y enero muestran los valores más bajos de ETo, estos coinciden con el inicio y mitad del periodo poco lluvioso del año (noviembre-febrero), siendo diciembre el mes de menor valor de precipitación. En este mes la posición del sol alcanza la máxima declinación al sur, lo que determina la ocurrencia de magnitudes más bajas de la radiación solar incidente y por tanto, una disminución de la tasa diaria de evapotranspiración de referencia (Solano *et al.*, 2003).

4.1.2. Análisis de la precipitación real y efectiva en Jagüey Grande en el período 2000-2019.

En Cuba, la lluvia es la variable meteorológica de interés agrícola de mayor variabilidad cuando se analizan largas series cronológicas (Pacheco *et al.*, 2006). El contenido de humedad en el suelo que contribuye a satisfacer las necesidades hídricas de los

cultivos está en estrecha vinculación con el volumen de precipitaciones totales ocurridas en un período determinado y se denomina precipitación efectiva (Cob, 2004).

Como se puede apreciar en la figura 5, la precipitación real presenta sus valores máximos en junio y septiembre, 253,9 y 266,1 mm respectivamente y los mínimos en enero con 24,2 mm y diciembre 31,9 mm en toda la serie climática estudiada. En el período lluvioso (mayo-octubre) el volumen de precipitación (1 352,2 mm) alcanza el 84% del total anual (1 606,5 mm).

Acosta y Paretas (2011), plantearon, que las precipitaciones en Cuba pese a su variabilidad espacio-temporal, presentan una distribución estacional de 75-80% en los meses de mayo-octubre y solo de 20-25% desde noviembre hasta abril.

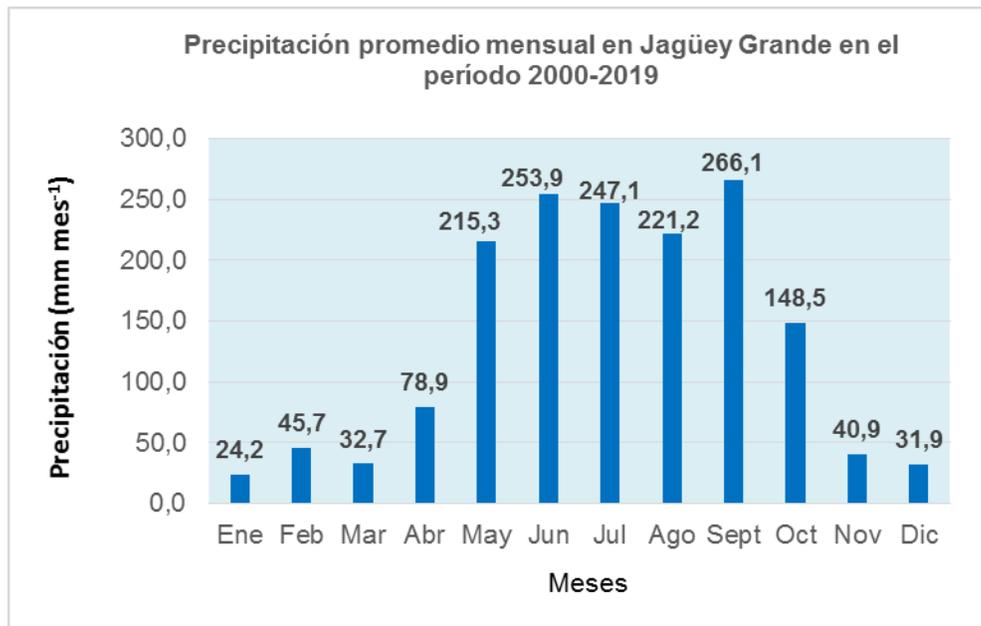


Figura 5. Precipitación promedio mensual en Jagüey Grande para el período 2000-2019.

En la figura 6 se observa que los valores promedio de precipitación efectiva (P_{efect}) más bajos en el período evaluado 24,4 y 30,0 mm mes⁻¹ corresponden a los meses de enero y diciembre respectivamente. Los valores de P_{efect} más altos se mostraron en los meses de junio 138,8 mm mes⁻¹ y septiembre 141,1 mm mes⁻¹. El período de mayores registros de lluvia efectiva estuvo en correspondencia con el período lluvioso (mayo-

octubre) con valores entre 97,5 y 141,1 mm mes⁻¹, para un valor total de 775,0 mm, que representó el 77% del total anual (1 009 mm).

Machado *et al.* (2016) obtuvo resultados similares para la región central del país con registros máximos de precipitación efectiva en junio y septiembre de 137,9 y 140,4 mm y registros mínimos en enero y febrero de 29,6 y 31,0 mm.

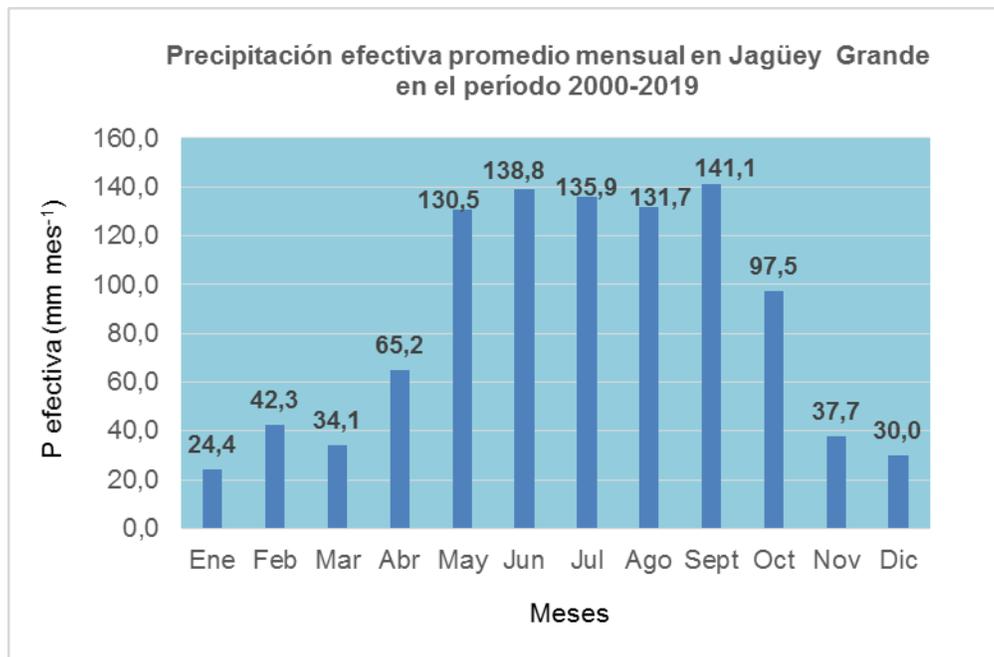


Figura 6. Precipitación efectiva promedio mensual en Jagüey Grande para el período 2000-2019.

Existe correspondencia entre los valores de precipitación real y los aprovechados, calculados a partir del método empleado, ya que a estos máximos reales corresponden 138,8 y 141,1 mm de lluvia efectiva y a los mínimos les pertenecen registros de lluvia aprovechable de 24,4 y 30,0 mm.

Precisamente en los meses que pertenecen al período lluvioso (mayo-octubre) se alcanzan las mayores diferencias entre los valores totales y los efectivos de precipitación, donde el suelo no puede retener toda el agua que precipita y esta se pierde por infiltración o escorrentía con la posibilidad de que exista la tendencia a la disminución de la efectividad de la lluvia. En los meses iniciales y finales del año las diferencias son pequeñas evidenciando un máximo aprovechamiento de la lluvia.

4.1.3 Relación entre la evapotranspiración de referencia (Eto) y las precipitaciones en Jagüey Grande en el período 2000-2019.

La figura 7, muestra el comportamiento entre el año 2000 y el 2019, de la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones anuales evaluadas. Se aprecia una disminución de los aportes de éstas últimas a lo largo de todo el período. Esta disminución se hace más evidente a partir del año 2010, donde cuatro años (2011, 2013, 2014 y 2019) presentaron valores inferiores a los totales anuales de ETo. Los valores de precipitaciones anuales presentan una gran variabilidad durante el período de estudio y se encuentran en un rango de 1 085,0 a 2 612,0 mm como valor mínimo y máximo respectivamente y registrados en los años 2004 y 2008. Esta inestabilidad responde, principalmente, a los primeros 10 años analizados (2000-2009), donde se aprecian las mayores diferencias. El promedio de precipitaciones anuales de este período fue de 1 680,0 mm, superando en 147,0 mm al período 2010-2019 (1 533,0 mm), respaldando lo expresado anteriormente con respecto a la disminución progresiva de esta variable.

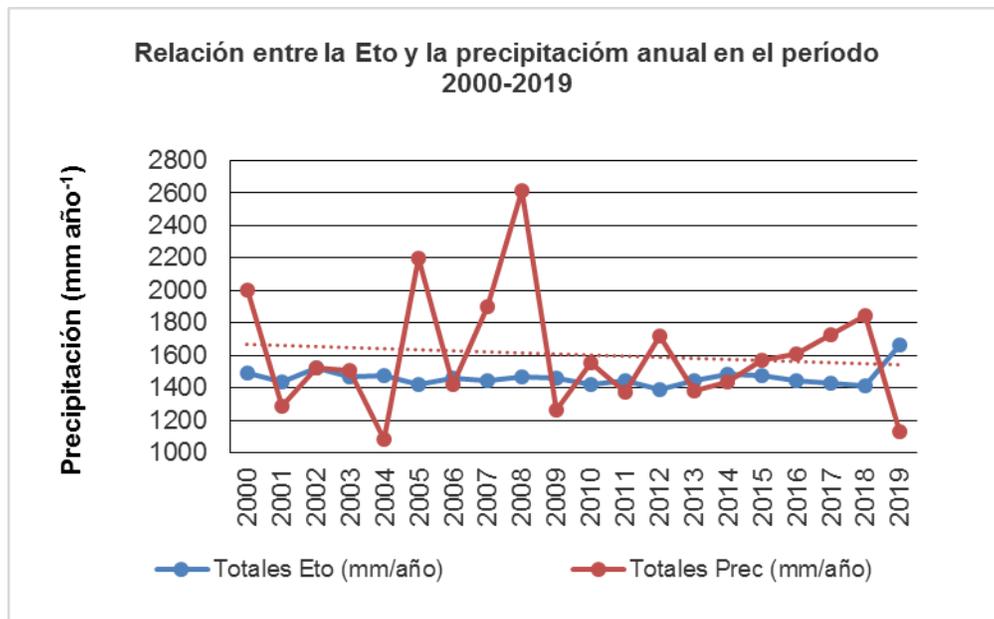


Fig. 7. Relación entre la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones anuales en Jagüey Grande en el período 2000-2019.

Resultados similares, fueron encontrados por Valdés (2017); Duarte *et al.* (2017, 2018 y 2020); Ezatollah y Marzieh (2018) y Malek *et al.* (2018), donde se evidencia que el clima está sufriendo modificaciones que apuntan hacia el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones.

Teniendo en cuenta la caracterización de la ETo y su relación con las precipitaciones en Jagüey Grande, en el período evaluado, se puede predecir que en el futuro los aportes naturales serán insuficientes para satisfacer el déficit hídrico por la demanda climática en la región. Dicha predicción coincide con los resultados obtenidos por Valdés (2017) y Duarte *et al.* (2018) al estudiar la relación entre la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones en el período 2017-2050 para la región occidental de Cuba. En este sentido será preciso la búsqueda de alternativas sostenibles para la adaptación al cambio climático, minimizando su impacto en la agricultura, los recursos naturales, la salud, la población, entre otros sectores socioeconómicos que se desarrollan en el territorio.

4.1.4. Determinación del crecimiento vertical del sistema radical activo del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

En esta investigación se estudió el crecimiento vertical del sistema radical activo del naranjo (*Citrus sinensis* L.Osb.), como información necesaria para el ajuste de las necesidades hídricas de dicho cultivar en las condiciones de Jagüey Grande.

Los resultados muestran un escaso desarrollo del sistema radical activo, apreciándose pocas raíces con diámetro inferior o igual a 3 mm (Figura 8) lo que pudiera estar asociado a la incidencia de la enfermedad conocida como HLB o Huanglongbing de los cítricos, la que provoca bloqueos del floema y restringe el desarrollo del sistema radical de las plantas (Achor *et al.*, 2017).

Es válido señalar que en la citricultura en Jagüey Grande y en Cuba en sentido general, las plantaciones cuando alcanzan la edad productiva presentan síntomas visuales asociados a la incidencia de esta enfermedad de alto impacto, tales como los descritos por Bové (2017) y Graham *et al.* (2017). Todas las especies de cultivares y patrones cítricos son susceptibles a esta enfermedad (Roose, 2016; Cueto *et al.*, 2017).

Por estos motivos, el estudio se limitó a medir la profundidad máxima que alcanzaban las raíces menores de 3 mm de diámetro, para garantizar el humedecimiento de toda la capa de raíces activas del cultivo.



Figura 8. Fotos del crecimiento del sistema radical del naranjo ‘Valencia’ injertado sobre patrón *Volkameriana*, al momento del estudio de raíces.

En la figura 9, se observan las longitudes máximas encontradas en las evaluaciones realizadas. Como se puede apreciar las mismas se encuentran en un rango entre 0,33 y 0,42 m de profundidad con una media de 0,38 m, una desviación estándar de 0,10 y un coeficiente de variación de 9,30%, lo que es indicativo de poca variabilidad en los resultados. Se decidió utilizar el valor máximo (0,40 m) para calcular los requerimientos hídricos del naranjo, mediante el programa cropwat.

Bosh *et al.* (1998), en una investigación realizada en pomelo Ruby Red de 14 años de edad, injertado sobre naranjo Agrio (*Citrus aurantium* L.) y con una distancia de siembra de 10x5m, en la empresa de cítricos Ceiba, en un suelo Ferralítico Rojo típico y regada por aspersión, encontraron la presencia de abundantes raíces activas en todo el perfil del suelo, hasta los 75 cm de profundidad.

Toledo y Cárdenas (1980), en un estudio llevado a cabo en naranja ‘Valencia’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck), injertado sobre naranjo Agrio en un suelo Ferralítico Rojo de Jagüey Grande, con una distancia de plantación de 8x4m y regada por aspersión,

determinaron que más del 90% de las raíces activas se encontraban hasta 0,60 m de profundidad.

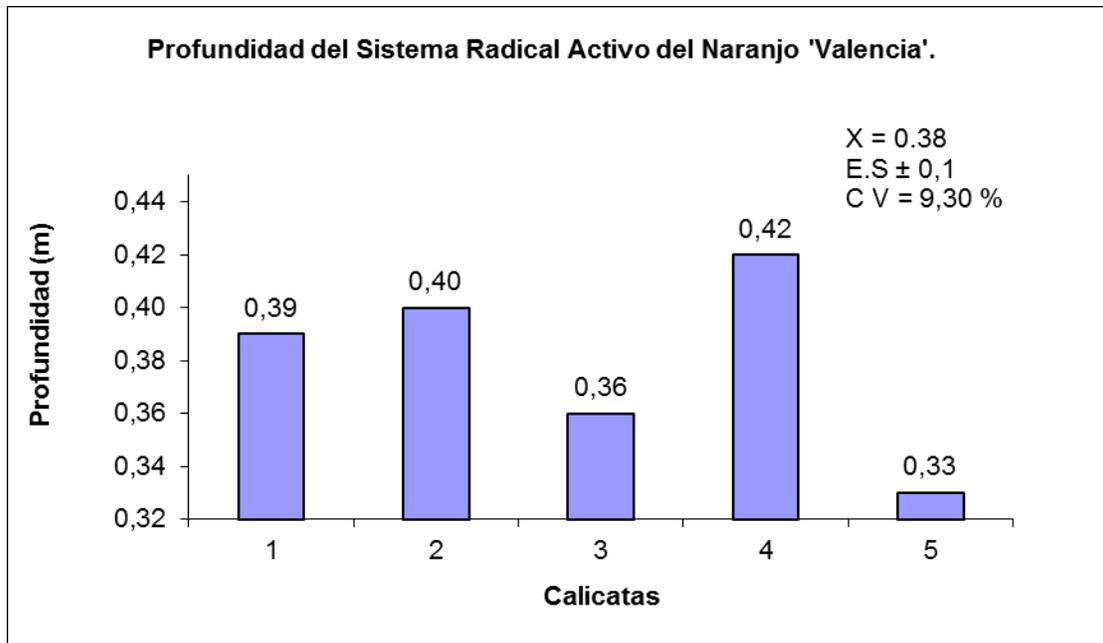


Figura 9. Profundidad del sistema radical activo del naranja 'Valencia' injertado sobre patrón *Volkameriana* a los 10 años de edad.

El desarrollo del sistema radical de los cítricos depende en gran medida de diversos factores como el tipo de suelo, la distancia de plantación, la combinación cultivar patrón empleada, la técnica de riego, entre otras labores agrotécnicas realizadas al cultivo.

La emergencia de enfermedades de alto impacto acontecida en las últimas décadas ha propiciado el uso de marcos de siembra menos espaciados y la utilización de patrones tolerantes a dichas enfermedades que en sentido general proporcionan menos vigor al sistema radical de las plantas cítricas. Además, el empleo de técnicas de riego localizado por goteo como medida para garantizar el uso eficiente del agua y la energía, también limita el crecimiento de las raíces de los cítricos.

4.1.5. Determinación de la altura de las plantas de pomelo en la Empresa Agroindustrial "Victoria de Girón".

La altura de las plantas es un dato de entrada del módulo cultivo del programa CROPWAT que aunque es un dato opcional, para Cuba es indispensable tenerlo en

cuenta. En este estudio se determinó la altura promedio de las plantas de naranjo 'Valencia' para ajustar las necesidades hídricas de dicho cultivar en las condiciones de Jagüey Grande.

Como se observa en la figura 10, la altura de las plantas osciló entre 2,60 y 3,45 m, con una media aritmética de 3,01 m. Se encontró poca variabilidad en las evaluaciones realizadas con un coeficiente de variación de 9,40 % y una desviación estándar de 0,3.

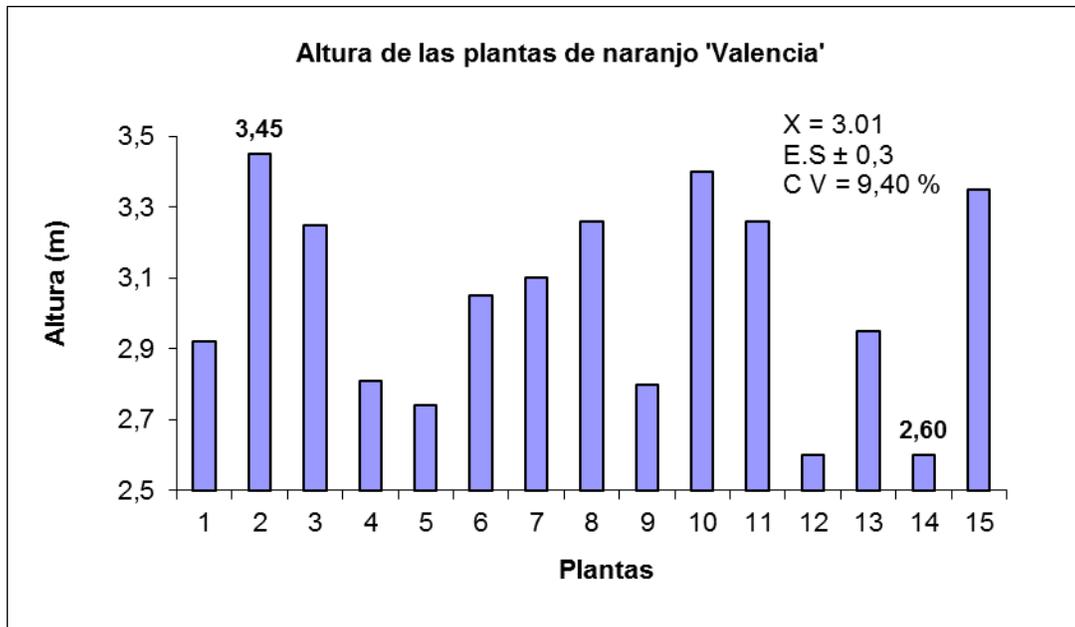


Figura 10. Altura de las plantas del naranjo 'Valencia' injertado sobre patrón *Volkameriana* a los 10 años de edad.

La altura promedio no coincide con determinada por Rodríguez (1988), cuyo valor fue de 4,2 m para esta variedad en un suelo Ferralítico Rojo de Jagüey Grande, con una distancia de plantación de 8x5m y regada por aspersión.

Bello (1991) encontró, una altura promedio de 4,6 m para el mismo cultivar en una plantación establecida en la misma área de estudio (T-14, UEB No 1) de nueve años de edad, sobre patrón *Cleopatra*, plantada a una distancia de 10x5m y regada por aspersión, que aunque coincide con una plantación anterior en la misma área, no concuerdan con los resultados encontrados.

Aranguren *et al.* (2017) determinaron en plantaciones de pomelo de nueve años, sobre patrón *Cleopatra*, regada por goteo y con una distancia de siembra de 8x2,5m los

siguientes valores de altura para distintos cultivares: 'Marsh Jibarito' 2,6 m, Ruby Red 3,4 m y Star Ruby 3,0 m. Estos valores son similares a los encontrados en ésta investigación.

Como se puede observar este parámetro del crecimiento de las plantas varía en dependencia de los marcos de siembra, la técnica de riego, el patrón y el cultivar empleados, entre otros factores de manejo de la plantación. Por esta razón, se utilizaron en esta investigación la combinación de éstos parámetros más representativos para el cultivo del pomelo en la empresa.

4.2. Comparación de las normas netas de riego estimadas con las aplicadas actualmente en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Como se ha expresado anteriormente el régimen de riego establecido para el cultivo del naranjo en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” data de finales de la década del 80 del pasado siglo, época en la cual las condiciones climáticas y del cultivo diferían de las actuales.

La tabla 2 muestra las normas netas mensuales utilizadas en la actualidad para el cultivo del naranjo en la Empresa. Como se puede apreciar, en los últimos años, se han empleado distintos marcos de plantación con la intención de lograr un mayor número de plantas por hectárea que favorezca el incremento de los rendimientos (EAIVG, 2016). En este sentido, se ajustaron las normas netas calculadas, hace más de tres décadas, para garantizar la entrega del mismo volumen de agua diario por planta, independientemente del marco de plantación utilizado.

Para tener una idea de las normas netas empleadas al cultivo del naranjo, con independencia del marco de siembra, se determinaron los promedios mensuales, los cuales fueron comparados con los obtenidos en el presente estudio.

Tabla 2. Normas netas mensuales utilizadas en la actualidad para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande, en la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”.

Normas netas mensuales utilizadas en la actualidad para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande ($m^3 \cdot ha^{-1}$)										
Marcos de plant (m)	5x2,5	5x3	6x2,5	6x2,8	6x3	7x2	7x2,5	7x3	7x4	Prom
Area (m^2)	12.5	15	17.5	16.8	18	14	17.5	21	28	
No pltas/ha	800	667	571	595	556	714	571	476	357	
Ene	446	446	383	448	434	438	446	438	438	436
Feb	403	370	331	390	392	396	389	396	396	385
Mar	424	428	367	432	434	438	430	425	428	423
Abr	410	414	355	418	420	424	417	411	415	409
May	446	446	383	432	434	438	430	438	438	432
Jun	389	378	324	386	390	386	386	386	386	379
Jul	424	409	351	415	419	419	415	412	419	409
Ago	424	409	351	415	419	419	415	412	419	409
Sept	410	414	355	418	420	424	417	424	415	411
Oct	469	465	399	465	465	478	462	465	468	460
Nov	410	414	355	418	420	405	417	411	415	407
Dic	424	428	367	432	434	438	430	425	428	423

En la figura 11, se observa el comportamiento de los requerimientos hídricos anuales estimados del cultivo para el período 2000-2019, los mismos oscilan entre un mínimo de 911 mm y un máximo de 959 mm con una media anual de 938 mm.

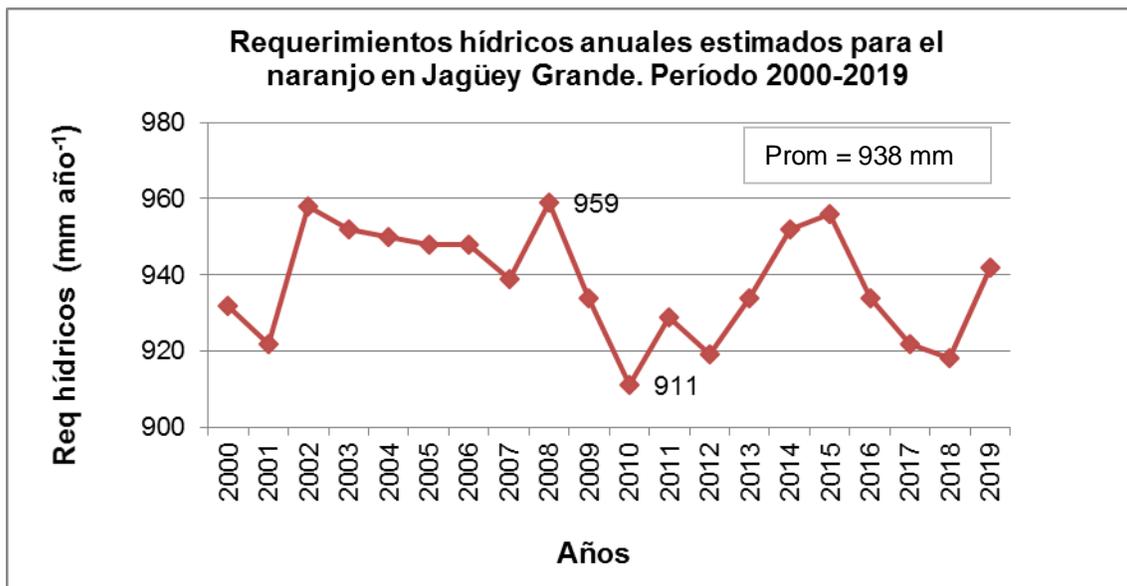


Figura 11. Requerimientos hídricos anuales estimados para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande en el período 2000-2019.

Sin embargo, aun cuando los requerimientos hídricos promedio de la serie evaluada desde el año 2000 hasta 2019 son de 938,0 mm anuales, se recomienda utilizar para el diseño de la programación de riego del cultivo en la región 952,0 mm, los que se corresponden con el 25% de probabilidad de ocurrencia. Esto explica que en el cultivo del naranjo se podrá planificar el riego utilizando estos requerimientos en cuatro, de cada cinco años climáticos, sin provocar afectaciones. La evaluación de probabilidad se ajustó a una ecuación lineal ($RH = -0,5072 P + 963,3$) y con coeficiente de determinación de $R^2 = 0,98$ (Figura 12).

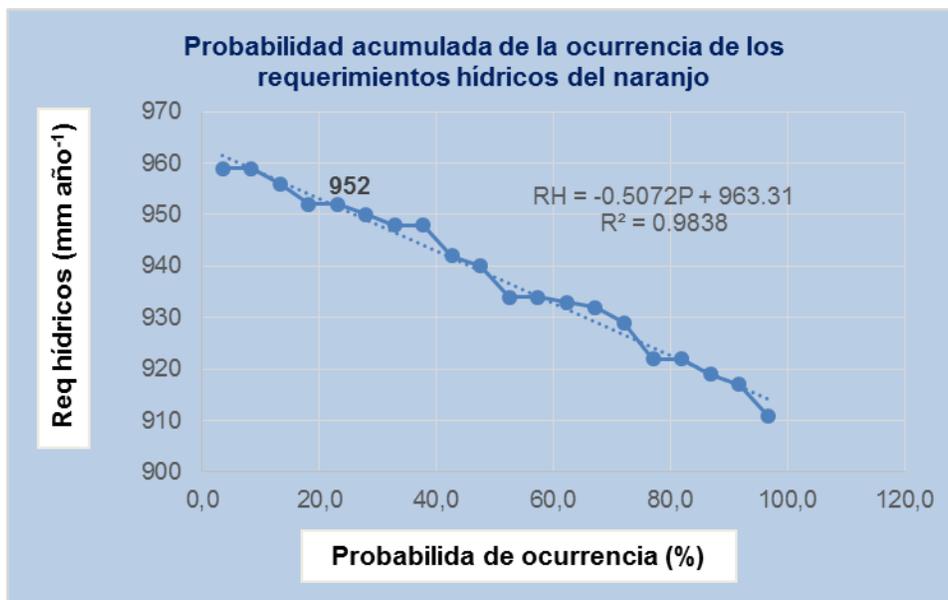


Figura 12. Probabilidad acumulada de ocurrencia de los requerimientos hídricos del naranjo en la serie 2000-2019.

Es preciso acotar que la campaña de riego en la empresa, para las plantaciones de naranjo en la etapa de producción, abarca los meses de enero a mayo debido a que en el período lluvioso (mayo – octubre) las precipitaciones en Jagüey Grande superan la evapotranspiración del cultivo.

La restricción de humedad en el suelo no tiene incidencia significativa en el tamaño final del fruto (Aranguren, 2009). Además en noviembre y diciembre las plantaciones se someten a estrés hídrico para lograr una floración uniforme una vez iniciado el riego.

Para comparar las normas netas estimadas con las utilizadas actualmente en la empresa se utilizaron los promedios mensuales que aparecen en la tabla 1. El período

empleado para realizar dicho análisis fue el correspondiente a la campaña de riego de la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”, (enero – mayo) por las razones expuestas con anterioridad.

La tabla 3, refleja una disminución de las normas netas totales de riego estimadas para la campaña, con respecto a las utilizadas en la actualidad, avalada por 194 m³ ha⁻¹ de menos, para toda la campaña de riego, lo que representa el 91% de las normas netas totales empleadas en la programación de riego actual.

Tabla 3. Comparación entre las normas netas mensuales actuales y las estimadas para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande.

Comparación entre las normas netas mensuales actuales y las estimadas para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande (m³ ha⁻¹)				
Meses	Nn Actual	Nn Estimada	Diferencia	%
Ene	436	274	-161	63
Feb	385	289	-95	75
Mar	423	399	-24	94
Abr	409	455	45	111
May	432	473	41	109
Total	2 084	1 890	-194	91

En sentido general es necesario tener en cuenta este resultado para conocer de qué volumen de agua se va a disponer para establecer los manejos hídricos que se adapten al cambio climático y garantizar la producción del naranjo en Jagüey Grande.

4.3. Evaluación económica del ajuste de los parámetros que definen las necesidades hídricas del naranjo.

Después de realizar el estudio para ajustar los requerimientos hídricos del naranjo en las condiciones actuales de Jagüey Grande, y comparar las normas netas estimadas con las actuales se procedió a la evaluación económica de los resultados de dicha investigación.

La disminución estimada de las normas netas de riego para esta especie (194 m³ ha⁻¹) representa un menor costo de producción debido a menores gastos por un

decrecimiento del volumen total de agua y de la generación de energía eléctrica, para las 1 950 ha plantadas de naranjo en la etapa de producción durante la campaña de riego.

La disminución del volumen total de agua necesario para aplicar las normas netas totales estimadas aparece reflejada en la tabla 4. Como se puede apreciar se extraerán 378 300 m³ de agua menos como resultado de esta estrategia de manejo.

Tabla 4. Disminución del volumen total de agua para la campaña de riego.

Disminución demanda total para la campaña de riego (M³)			
Nn estimada (m³/ha⁻¹)	Nn actual (m³/ha⁻¹)	Área (ha)	Demanda Total (m³)
1 890	2 084	1 950	- 378 300

La tabla 5, muestra el costo de la disminución del volumen de agua para la campaña de riego en la empresa “Victoria de Girón”. Teniendo en cuenta el volumen total a extraer y el precio unitario del agua, el costo es de 3 026 CUP menos que el resultante de la aplicación de las normas netas actuales.

Tabla 5. Costo por disminución del volumen total de agua para la campaña de riego.

Costo disminución demanda de agua (CUP)		
Demanda (M³)	Precio (CUP/M³)	Costo (CUP)
- 378 300	0,008	- 3 026

Otro elemento de gasto atribuido a la disminución de las normas de riego estimadas para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande, es el de generación de energía eléctrica. Como se observa en la tabla 6, el mismo disminuye en 225 799 CUP. Para su determinación se tuvieron en cuenta la potencia instalada y las horas de bombeo (Tabla 7) necesarias para aplicar las normas netas estimadas, así como el precio de la energía.

Tabla 6. Costo por disminución de generación de energía para la campaña de riego.

Costo disminución generación de energía (CUP)			
Pot inst (kw/h)	Horas bomb (h)	Precio (CUP/kw)	Costo (CUP)
2 771	- 42	1,93	- 225 799

Tabla 7. Disminución de las horas de bombeo para garantizar la disminución de las normas netas estimadas para la campaña de riego.

Disminución horas de bombeo (h)		
Vol Total (m³)	Q inst m³/h	H bomb (h)
- 378 300	8 960	- 42

Finalmente se muestra el costo total de los resultados de esta investigación (Tabla 8).

Tabla 8. Costo total del incremento de las normas netas estimadas para la campaña de riego.

Costo total disminución normas netas (CUP)		
Costo disminución vol de agua (CUP)	Costo disminución gen energía (CUP)	Costo total (CUP)
- 3 026,4	- 225 799	- 228 825

Los gastos por disminución del volumen total de agua y de generación de energía eléctrica como resultado de normas netas totales más reducidas para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande representaron un costo total inferior en 228 825 CUP.

5. CONCLUSIONES

1. Los valores promedio de ETo más bajos en Jagüey Grande corresponden a los meses de diciembre y enero con 2,84 y 2,88 mm día⁻¹ respectivamente, mientras que los más altos se mostraron en los meses de abril 4,88 mm día⁻¹ y mayo 4,91 mm día⁻¹.
2. Existe una tendencia a la disminución del promedio anual de las precipitaciones, haciéndose más evidente a partir del año 2009, donde cuatro años (2011, 2013, 2014 y 2019) presentaron valores inferiores a los totales anuales de ETo.
3. En el naranjo 'Valencia' prevalece un escaso desarrollo del sistema radical activo con una profundidad media de 0,38 m y la altura promedio de las plantas es de 3,01 m.
4. La estimación de las normas netas totales de riego para el cultivo del naranjo en Jagüey Grande en el período 2000-2019 mostró una disminución de 194 m³ ha⁻¹, con respecto a las normas actuales.
5. El ajuste de las normas netas del naranjo en Jagüey Grande representó un decrecimiento estimado del volumen total de agua y del consumo de energía eléctrica valorado en 228,83 miles de CUP por campaña.

6. RECOMENDACIONES

1. Validar las normas netas obtenidas en este estudio en la programación de riego del cultivo del naranjo para las condiciones de Jagüey Grande.
2. Utilizar los resultados de ésta tesis como material de estudio docente y del personal de investigación dedicado a la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Achor, D. S.; Etxeberria, E.; Wang, N.; Folimonova, S. Y.; Chung, K. R. y Albrigo, L. G. 2017. Sequence of anatomical symptom observations in citrus affected with huanglongbing disease”. *Journal Plant Pathol.* 9: 56-64.
2. Acosta, R y Paretas, J. J. 2011. *Incendios Forestales*. La Habana: Editorial Científico-Técnica.
3. Adato, Y y Levinson, B. 1991. Influence of Reduced Rates of Water and Fertilizer Application Using Intermittent Drip Irrigation on the Water Requirements. Root Development and Responses of Avocado Trees (cv. Fuerte). *Journal of Horticultural Science* 66(4): 449-463.
4. Agro Fresh. 2021. Cítricos 2020: Un gran año gracias a la pandemia [en línea]. Disponible en: <http://www.portalfruticola.com>. [Consulta: octubre, 19, 2021].
5. Agustí, M. 1998. Factores pre cosecha que afectan a la calidad de los frutos cítricos. Factores medio ambientales. *Todo Citrus*. Abril/Junio: 22-34.
6. Agustí, M. 2003. *Citricultura*. 2^{da} Edición, Mundi-Prensa. Madrid, España. 422 p.
7. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy.
8. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D y Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO Riego y Drenaje, Roma. Italia.
9. Anaya, B.; Deere, C. A.; Fernández, E.; García, A.; González, G.; Muiño, B. L.; Nova, A y Royce, F.S. 2016. *Conviviendo con el HLB: la diversificación de la industria citrícola en Cuba*. Working Paper No 4, July 2016. Cuba-US Agricultural Research Working Paper Series. Center for Latin American Studies and Institute for Food & Agricultural Sciences, University of Florida. 27 p.
10. Aranguren, M. 2009. *Pronósticos de madurez y otras especificaciones de calidad para el ordenamiento de la cosecha en los cítricos de Jagüey Grande*. Ciudad Habana. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Ministerio de la Agricultura.

11. Aranguren, M. 2017. Evaluación de los Pomelos Pigmentados en Jagüey Grande en plantaciones afectadas con Huanglongbing. Informe de Servicio a Empresa. Disponible en: Dirección de Desarrollo de la Empresa Agroindustrial "Victoria de Girón". 15 p.
12. Ballester, C.; Castel, J. R. y Intrigliolo, D. S. 2011. Response of `Clementina de Nules` citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition". *Agricultural Water Management*. 98: 1027-1032.
13. Bello, L. 1990. Comportamiento agrícola de variedades de cítricos en Jagüey Grande. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Ministerio de la Agricultura.
14. Betancourt, M.; García, M. E.; Castro, T.; Pérez, Y.; Mesejo, C.; Martínez, A.; Noriega, C.; Oliva, H. y Agustí, M. 2006. Influencia de la temperatura y la humedad del suelo sobre la época de recolección del pomelo (*Citrus paradisi* Macf.) cultivado en condiciones de clima tropical húmedo. *Levante Agrícola*. 3^{er} trimestre.
15. Bosch, D.; Paneque, J.; Castellanos, N.; Peña, O.; Fuentes, E. y Salazar, A. 1998. Estudio del sistema radicular de los cítricos para la implantación del sistema de riego en plantaciones de la empresa de cítricos "Ceiba". Informe Técnico. Disponible en: Biblioteca Unidad Científico Tecnológica de Base Jagüey Grande.
16. Bové, J. M. 2017. 'Huanglongbing or yellow shoot, a disease of Gondwanan origin: Will it destroy citrus worldwide? *Phytoparasitica*. 42(5): 579-583.
17. Brouwer, C.; Goffeau, A. y Heibloem, M. 1987. Manejo del agua de riego. Manual de campo No1. Introducción al riego. Roma.
18. Casamayor, R. 2018. Aspectos epidemiológicos y de manejo de la mancha negra de los cítricos en Jagüey Grande. Tesis en opción al Título de Especialista en Fruticultura Tropical. Universidad de Matanzas.
19. Chaterlán, Y. 2007. Coeficientes de cultivo de la cebolla y su determinación con el modelo ISAREG. Taller Internacional: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información. La Paz, Bolivia.
20. Chaterlán, Y. 2012. Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba.

21. Cigales, M. y Pérez, O. 2011. Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 15(3): 21-31.
22. Cob, A. 2004. Necesidades hídricas en cultivos hortícolas, *Horticultura*. (2): 34-40.
23. Cofructo. 2017. Requerimientos hídricos del cultivo de los cítricos [en línea] Disponible en: <http://www.frutas/proveda.com>. [Consulta: abril, 20 2020].
24. Cruz, A. M. 2014. Agricultura cubana y cambio climático: ¿Coexistencia Imposible? , *Cubahora*, (1): 23-32.
25. Cueto, J. R. 2009. Hacia una nueva citricultura en Cuba. Jornada de la Citricultura. Conferencia. Empresa de Cítricos Ceiba.
26. Cueto, J. R.; Sosa, G.; Rodríguez, K. y Riaño, R. 2017. Propuesta de estructura de especies y cultivares para el ciclo 2015-2020 en la citricultura cubana. *Citrifrut*. 32(2): 56-63.
27. Davies, F. F. y Albrigo, L. G. 1994. *Citrus*. CAB International, Walling Ford, Oxon, UK. 254 p.
28. De La Fuente, H. 2007. Manejo del agua y fertirrigación en cítricos. En: Rocha y Padrón. *El cultivo de los cítricos en el estado de Nuevo León*. México, Nuevo León. p. 119-155.
29. De La Rosa, J. M.; Gómez, J. y Pérez, A. 2015. Implementing deficit irrigation scheduling through plant water stress indicators in early nectarine trees. *Agricultural Water Management*. 152: 207-216.
30. Dell'Amico, J. M.; Domingo, R.; Pérez, A.; García, M.; Peñalver, M.; Villanueva, F. y Puerto, P. 2012. Efecto del estrés hídrico en el desarrollo final del fruto de mandarina 'Fortune'. *Cultivos Tropicales*. 33(3): 63-68.
31. Duarte, C. E.; Herrera, P. J. y Zamora, E. 2017. Predicción de las normas netas de riego a futuro en el pronóstico de Riego. *Ingeniería Agrícola*. 7(3): 3-10.
32. Duarte, C. E.; Valdés, P. J.; Herrera, P.J. y Zamora, E. 2018. Predicción de las normas netas de riego del frijol común en la zona occidental de Cuba. *Ingeniería Agrícola*. 8(2): 41-47.

33. Duarte, C. E.; Utria, B. E.; Herrera, P. J. y Zamora, E. 2020. Modelación de las normas netas de riego de la papa según variabilidad climática. *Ingeniería Agrícola*. 10(1): 8-12.
34. Elizastigue, Y. 2018. Evaluación de la lluvia efectiva con diferentes métodos empíricos. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Universidad Tecnológica de La Habana.
35. Ezatollah, K. y Marzieh, K. 2018 Climate change and agriculture: Impacts and adaptative responses in Iran, *Journal of integrative agriculture*.
36. FAO. 1974. Precipitación efectiva en la agricultura de regadío. Roma, Italia. 75 p.
37. FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Ed. FAO Riego y Drenaje, FAO, No. 56. Roma, Italia. 322 p.
38. FAOSTAT. 2011 Datos provisionales de producción [en línea] Disponible en : faostat.fao.org/faostat. [Consulta: septiembre, 16 2020].
39. Febles, G. T. y Ruiz, E. 2009. El cambio climático global y sus repercusiones en Cuba. *Acciones Para el Futuro. Ciencia Agrícola*. 43.
40. Figueredo, C. 2018. Susceptibilidad de tres accesiones de mandarinas a diferentes enfermedades fungosas. Tesis en opción al título de Especialista en Fruticultura Tropical. Universidad de Matanzas.
41. Garzón, D. L. 2012 Evaluación de la influencia del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de la naranja "Valencia" (*Citrus sinensis* L. Osb.) en el pie de monte llanero de Colombia. Tesis en opción al título de Master. Universidad Nacional de Colombia.
42. Giles, F. 2017. Lo que sabemos ahora sobre nutrición de cítricos [en línea]. Disponible en: <http://www.growingproduce.com> [Consulta: abril, 15 2020].
43. Gómez, A. 2017. Conferencia sobre enfermedades fungosas en los cítricos. Curso Maestría en Fruticultura Tropical. IIFT. La Habana, Cuba. 23 p.
44. Graham, J. H.; Johnson, E. G.; Gottwald, T. R. y Irey, M. S. 2017. Presymptomatic fibrous root decline in citrus trees caused by Huanglongbing and potential interaction with *Phytophthora* sp'. *Plant disease*. 97: 1195-1199.

45. Gutiérrez, J. M.; San-Martín, D.; Herrera, S.; Fernández, J. y Pons, M. R. 2014. Escenarios Regionales de Cambio Climático en Cantabria, Santander [en línea]. Disponible en: <http://www.meteo.unican.es/es/project>. [Consulta: octubre, 18 2020]
46. Hernández, A.; Ascanio, M.; Cabrera, A.; Morales, M. y Medina, N. 2004. Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con World Reference Base. Conferencia en Postgrado de Clasificación de suelo. 14 p.
47. Hernández, N.; Soto, F. y Caballero, A. 2009. Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. Cultivos Tropicales. 30(1): 37-43.
48. Iglesias, E. 2006. Informe técnico. Datos para tesis de grado en riego y drenaje. Disponible en: Dirección de Producción de la Empresa Agroindustrial "Victoria de Girón". 5 p.
49. Iñiguez, M.; Ojeda, W. y Díaz, C. 2015. La infraestructura hidroagrícola ante escenarios del cambio climático. Tecnología y Ciencias del Agua. 6(5): 89-101.
50. Kolesnikov, V. 1972. Metodología para el estudio del sistema radicular de las plantas frutales y de las bayas en el laboratorio y campo. Centro de Información Científico Técnica. Universidad de Matanzas. p. 9 - 40.
51. Koo, R. C. J. 1963. Effects of frequency of irrigation on yield of orange and grapefruit. Proc. Florida State Hort. Soc. 76: 1-5.
52. Lima, H.; Cornide, M. T.; Alvarez, M. y Frómeta, E. 1998. Clasificación edafoclimática de las localidades cítricas en Cuba. Agrotecnia de Cuba. 20(2): 63-74.
53. López, T.; Dueñas, G.; Sierra, J.; Ozier, H.; González, F.; Giralt, E.; Chaterlán, Y. y Cid, G. 2001. Simulación del manejo del riego y la fertilización nitrogenada del maíz sobre suelo Ferralítico del sur de La Habana". Ciencias Técnicas Agropecuarias. 10(3): 59-66.
54. Machado, Y. 2016. Caracterización de la evapotranspiración de referencia estimada y predicha para su inserción en la programación de riego. Santa Clara. Tesis en opción al título de Master en Agricultura Sostenible. Universidad Central de Las Villas.
55. Malek, K.; Adam, J. C.; Stöckle, C. O. y Peters, R. T. 2018. Climate change reduces water availability for agriculture by decreasing non-evaporative irrigation losses. Journal of Hydrology. 561: 444-460.

56. Mena, C.; Ormazábal, Y.; Llanos, J. y Díaz, J. 2007. Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para mejorar la gestión del agua de riego del embalse Convento Viejo, Chile. *Agricultura Técnica*. 67(1): 49–59.
57. MINAG. 1990. Instructivo técnico para el cultivo y beneficio de los cítricos, Tomo I. La Habana, Cuba. 251 p.
58. MINAG. 2011. Instructivo técnico para el cultivo de los cítricos. La Habana, Cuba. 42 p.
59. MINAG. 2018. Programa de Desarrollo de la citricultura Cubana. La Habana, Cuba. 58 p.
60. MINAG. 2018. Balance nacional de áreas bajo Riego. La Habana, Cuba. 45 p.
61. Morales, A. 2016. Alternativas para el control de la Pudrición del Pie de los Cítricos en Jagüey Grande. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Matanzas.
62. Oña, C. 2019. Evaluación de la lluvia efectiva a partir del balance hídrico bajo diferentes condiciones de manejo del suelo. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Universidad Tecnológica de La Habana.
63. Orduz, J. y Fischer, G. 2007. Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el pie de monte llanero de Colombia". *Agronomía Colombiana*. 25(2): 255-263.
64. Pérez-Pérez, J. G.; Robles, J. M. y Botía, P. 2010. Economic analysis of navel orange cv. 'Lane late' grown on two different drought-tolerant rootstocks under deficit irrigation in South-eastern Spain". *Agricultural Water Management*. 97: 157-164.
65. Pérez-Pérez, J. G.; Robles, J. M. y Botía, P. 2014. Effects of deficit irrigation in different fruit growth stages on "Star Ruby" grapefruit trees in semi-arid conditions". *Agricultural Water Management*. 133: 44–54.
66. Procolombia, 2021. El mercado de cítricos en el mundo. Informe [en línea]. Disponible en: <http://www.colombiatrader.co>. [Consulta: noviembre, 22 2021]
67. Puente, A.; Aranguren, M. y Forteza, L. A. 2017. Cambios de pH y nutrientes en suelos asociados al cultivo intensivo de cítricos en Jagüey Grande, Matanzas, Cuba. *CitriFrut*. 34(1): 25-30.

68. Rivero, O.; Boquet, A. D.; López, C.; Valentín, P. y Manso, R. 2015. Segunda comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Inst. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, La Habana, Cuba. 228 p.
69. Roistacher, C. N. 2003. The importance of a certification program for citrus. Memoria Encuentro Interamericano de Cítricos. p. 41-60.
70. Roose, M. 2017. Citrus rootstocks breeding and evaluation [en línea]. Disponible en: <http://citrusresearch.org/news2016-03-citrus-combination-tolerancetoHLB>. [Consulta: noviembre, 20 2021]
71. SIAM. 2018. Necesidades de riego de un cultivo tradicional de cítricos [en línea]. Disponible en: <http://www.pérezguarinos.files.wordpress.com>. [Consulta: noviembre, 28 2021].
72. Solano, O. O.; Menéndez, C. G.; Vázquez, R. M.; Menéndez, J. G. y Martín, M. P. 2003. Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba. Cubana de Meteorología. 10(1): 33.
73. Tarjuelo, J. M. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 318 p.
74. Toledo, E y Cárdenas, R. 1980. El sistema radical en árboles adultos de naranjo 'Olinda Valencia' sobre patrón naranjo 'Agrio'. Cienc. Téc. Agric. Cítricos y Otros Frutales. Suplemento. 61-76.
75. UN. 2020. Agua y cambio climático. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos [en línea]. Disponible en: www.unesco.org/water/wwap. [Consulta: junio, 26 2021].
76. Valdés, P. J. 2017. Predicción de las normas netas del riego del cultivo del frijol común en la zona occidental de Cuba. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Universidad Tecnológica de La Habana.
77. Verdecia, L. 2016. Predicción de las normas netas de riego del tomate a cultivarse en las zonas occidental, central y oriental de Cuba en el período 2016- 2050 en función de la variabilidad y el cambio climático. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Universidad Tecnológica de La Habana.

78. Zamora, E. y Chaterlán, Y. 2001. Estudios sobre evapotranspiración de referencia en Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 10(3): 87-89.
79. Zhang, Y.; Hansen, N.; Trout, T.; Nielsen, D. y Pausian, K. 2018. Modeling Deficit Irrigation of Maize with Day Cent Model. *Agronomy Journal*. 1(1): 1-11.