

# Contribución al estudio de las necesidades hídricas de cultivos de interés agrícola en Cuba

## Autoría principal

Dra C. Carmen Duarte Díaz<sup>1</sup>, Dra.C. Yoima Chaterlán Durruthy<sup>1</sup>, Dra.C. Felicita González Robaina<sup>1</sup>, MSc. Elisa Zamora Herrera<sup>1</sup>.

## Otros autores

Dr. C. Camilo Bonet Pérez<sup>1</sup>, Dr.C. Alberto Méndez Jocik<sup>1</sup>, Dra.C. Teresa López Seijas<sup>1</sup>, Dr.C. Julián Herrera Puebla<sup>1</sup>

## Colaboradores

Dra.C. María León Fundora<sup>1</sup>, Dr.C. Oscar Solano Ojeda<sup>2</sup>, Dr.C. Greco Cid Lazo<sup>1</sup>, Dr. C. Roberto Martínez Varona<sup>1</sup>, MSc. Reinaldo Cun González<sup>1</sup>, MSc. Enrique Cisneros Zayas<sup>1</sup>, MSc. Elier Aguilar Solares<sup>4</sup>, MSc. Geisy Hernández Cuello<sup>1</sup>, Dr.C. Manuel Reinaldo Rodríguez<sup>1</sup>, Dr.C. Albi Mujica Cervantes<sup>3</sup>.

## Entidad ejecutora principal

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, IAgriC. Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: 645-1731 y 645-1353.

## Entidades participantes

<sup>2</sup>Instituto de Meteorología, <sup>3</sup>Universidad de Ciego de Ávila, <sup>4</sup>Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical, <sup>4</sup>Empresa Agropecuaria Güira de Melena.

## Autor para correspondencia

Dra.C. Teresa Lopez Seijas

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba.

Teléfono: 6917595, 6912665, 6912533

Email: [directoradjunta@iagric.cu](mailto:directoradjunta@iagric.cu), [greco.cidlazo@cubarte.cult.cu](mailto:greco.cidlazo@cubarte.cult.cu)

## Aporte científico de cada autor al resultado

- ✓ **Ing. Carmen Duarte Díaz**, Dr. C, Investigador Titular IAgriC, Profesor Titular UNAH. Determinación de coeficientes de cultivo en hortalizas para cielo abierto (tomate, ajo y cebolla), determinación de coeficiente de cultivo con el uso del tratamiento magnético del agua (tomate, ajo y cebolla), determinación de coeficiente de cultivo para la cebolla para condiciones no estándar (baja disponibilidad de agua). Líder del proyecto 22- 06.00 *Precisión de requerimientos de riego de cultivos agrícolas cubanos en diferentes zonas edafoclimáticas (2009-2012 del Programa ramal de Riego y Drenaje, líder del proyecto Ajuste de las normas netas para el pronóstico de riego de los cultivos agrícolas en Cuba, en función de la variabilidad climática del Programa Nacional de Cambio Climático (2013-2017), autora de la obra protegida 2811/2009, sobre la influencia del tratamiento magnético del agua en los rendimientos hídricos del tomate, ajo y cebolla para condiciones de deficiencias hídricas. Participó con un 15% del fondo de tiempo.*
- ✓ **Lic. Yoima Chaterlán Durruthy**, Dra. C., Investigador Titular IAgriC. Participó en el desarrollo de la investigación, en los estudios preliminares así como en el procesamiento y organización de la información e interpretación de los resultados. El aporte científico

fundamental al resultado estuvo en la concepción teórica del trabajo y en el ordenamiento y procesamiento estadístico y matemático de toda la información utilizada y generada en el tema de la calibración y validación de dos modelos de simulación en los cultivos de ajo y cebolla, lo que permitió definir por primera vez en Cuba los coeficientes duales para estos cultivos y las bases metodológicas y de cálculo para la introducción de este enfoque en la continuidad de los estudios sobre las necesidades hídricas. Estos resultados forman parte de su tesis de doctorado. Participó con un 15% del fondo de tiempo.

- ✓ **Lic. Felicita González Robaina**, Dr. C, Investigador Auxiliar IAgric, Profesor Auxiliar CIH, CUJAE, Elaboró y ejecutó dos proyectos de investigación, lideró el trabajo Investigación del proyecto 22-08-01 del Programa Ramal de Riego y Drenaje: "Aplicación de herramientas de modelación y optimización en la predicción de estrategias de manejo del agua, recursos energéticos y maquinaria agrícola en diferentes condiciones de cultivos y suelos de Cuba" participando en el desarrollo de la investigación, en los estudios preliminares así como en el procesamiento y organización de la información e interpretación de los resultados. El aporte científico fundamental al resultado estuvo en la concepción teórica del trabajo y en el ordenamiento y procesamiento estadístico y matemático de toda la información utilizada y generada en el tema de la determinación de las funciones agua-rendimiento y los indicadores de productividad del agua como herramientas para la evaluación de la respuesta de los cultivos al riego. Estos resultados forman parte de su tesis de doctorado. Participó con un 15% del fondo de tiempo.
- ✓ **Ing. Elisa Zamora Herrera**, MS.C., Investigador Auxiliar IAgric. Desarrolló trabajos a nivel de campo para la obtención de los resultados que utilizó para su tesis maestría. Asesoró y condujo nuevos trabajos de investigación. Coordinó el proyecto de investigación para la determinación de coeficientes únicos, 22- 27: Actualización de los Coeficientes de cultivos, del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje. Participó en el análisis informacional para compilación de Kc. Procesó, interpretó y resumió los datos de campo. Participó con un 15% del fondo de tiempo.
- ✓ **Ing. Camilo Bonet Pérez**, Dr. C, Investigador Auxiliar IAgric, Desarrolló trabajos a nivel de campo para la obtención de los resultados que utilizó para su tesis de doctorado. Coordinó el proyecto de investigación para la determinación de coeficientes de la piña, 22-52: Determinación del régimen de riego del cultivo de la piña (*Ananas comosus L. Merr*)" del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje. Participó con un 10% del fondo de tiempo.
- ✓ **Ing. Alberto Méndez Jocik**, Dr. C. Participó en el desarrollo de la investigación, en los estudios preliminares así como en el procesamiento y organización de la información e interpretación de los resultados. El aporte científico fundamental al resultado estuvo en la concepción teórica del trabajo y en el ordenamiento y procesamiento estadístico y matemático de toda la información utilizada y generada en el tema de la aplicación de técnicas de teledetección espacial y redes neuronales 3 artificiales. Estos resultados forman parte de su tesis de doctorado. Participó con un 10% del fondo de tiempo.
- ✓ **Lic. Teresa Lopez Seijas**, Dr. C, Investigador Titular IAgric, Profesor Titular CIH, CUJAE. Participó en la identificación y selección de la información primaria de los resultados de más de 30 años de investigación en el IIRD. El aporte científico fundamental estuvo en la definición de la base metodológica para la precisión del procedimiento de cuantificación de los balances hídricos en los sistemas agrícolas, así como en la asesoría para el trabajo con los modelos de simulación. Es tutora de una de las tesis de doctorado a la cual tributan estos resultados. Participó con un 10% del fondo de tiempo.
- ✓ **Ing. Julián Herrera Puebla**, Dr. C, Investigador Titular IAgric, Profesor Titular CIH, CUJAE. Participó en la identificación y selección de la información primaria de los resultados de más de 30 años de investigación en el IIRD, participó en la valoración de los resultados de la investigación. El aporte científico fundamental estuvo en la asesoría para el ordenamiento e

interpretación de la información para la determinación de las funciones agua/rendimiento y los indicadores de productividad, así como en la fundamentación científica de la necesidad de su uso como herramientas eficientes en el diseño y operación de los sistemas de riego. Es el tutor de una de las tesis de doctorado a la cual tributan estos resultados. Participó con un 10% del fondo de tiempo.

## **Resumen**

Se resumen los principales resultados del trabajo de investigación realizado durante más de un quinquenio por un grupo multidisciplinario liderado por el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, que contribuyen a mejorar la precisión en la determinación de las necesidades hídricas de cultivos de interés agrícola en Cuba y evaluar su respuesta al riego. El trabajo se estructura en tres partes donde se presentan de manera resumida e integrada los resultados relacionados con: 1) la actualización de coeficientes y metodologías de cálculo de los balances hídricos para la cuantificación de la evapotranspiración de los cultivos agrícolas, 2) la determinación de las funciones agua-rendimiento y los indicadores de productividad del agua como herramientas para la evaluación de la respuesta de los cultivos al riego y 3) la introducción de herramientas de mayor actualidad y precisión en estos estudios-modelos de simulación y técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales. Se presentan los coeficientes,  $K_c$ , de 27 cultivos de interés agrícola en diferentes condiciones de producción. La comparación de las series de  $K_c$  obtenidos y la serie internacional definida bajo el auspicio de FAO, definen valores menores para Cuba que puede considerarse como una expresión de las condiciones tropicales, válidas para Cuba y la región del Caribe. Por otra parte, la actualización de la metodología y el procedimiento de cálculo de los balances hídricos facilitan la precisión en la estimación de la evapotranspiración del cultivo y el pronóstico del riego y la herramienta diseñada para la aplicación práctica de estos resultados resultó eficaz. Se definen las funciones agua rendimiento y los factores de sensibilidad e indicadores de productividad del agua de 17 cultivos de interés agrícola y se dan las recomendaciones para su introducción como herramientas en el planeamiento del uso del agua. Los modelos de simulación validados en los cultivos de ajo y cebolla, permitió definir por primera vez en Cuba los coeficientes duales para estos cultivos y las bases metodológicas para la introducción de este enfoque en la continuidad de los estudios. Los aportes metodológicos para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y de redes neuronales artificiales integradas en un soporte único constituyen partes esenciales de las bases cognitivas y metodológicas para su introducción en Cuba en la toma de decisiones en la gestión del riego. El resultado del trabajo ha generado 4 informes finales de proyectos, 4 tesis de doctorado, 2 tesis de maestría, 32 publicaciones científicas, 17 participaciones en eventos científicos, 1 premio innovación tecnológica provincial, 2 premio MINAG, 3 premios al artículo Científico del Comité Editorial Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 4 premios en el FORUM de Ciencia y Técnica (3 relevantes y 1 destacado) y otros reconocimientos.

## **Comunicación Corta**

### **Introducción**

Este trabajo integra los resultados de investigaciones realizadas en los últimos años por un grupo multidisciplinario liderado por el antes Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, hoy Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, con el objetivo de aumentar la precisión en la determinación de las necesidades hídricas de cultivos en Cuba y evaluar su respuesta al riego.

El trabajo se estructura en tres partes. En la primera parte se presentan de manera resumida e integrada los resultados relacionados con la actualización de coeficientes y metodologías de cálculo de los balances hídricos para la cuantificación de la evapotranspiración de los cultivos agrícolas. En ella se definen dos acápite, uno para la presentación de los resultados de la determinación de coeficientes de cultivo en diferentes condiciones de producción y otro que sintetiza los resultados de la actualización de la metodología y el procedimiento de cálculo de los balances hídricos para la precisión en la estimación de la evapotranspiración del cultivo y el pronóstico del riego. Se presentan en esta primera parte también un resumen de casos de aplicación práctica de las metodologías y coeficientes propuestos a partir de una herramienta en hoja excel, diseñada para estos fines.

En la segunda parte del trabajo se muestran los principales resultados obtenidos en la determinación de las funciones agua-rendimiento y los indicadores de productividad del agua como herramientas eficaces para la evaluación de la respuesta de los cultivos al riego. La aplicación de estos resultados permitió hacer recomendaciones para la introducción de los factores de sensibilidad al déficit hídrico y los indicadores de productividad obtenidos como herramientas para la toma de decisiones en el planeamiento del uso del agua a nivel local y regional, así como para la evaluación de la eficiencia de su uso y de las posibles afectaciones en los rendimientos por la disminución del recurso agua para el riego y constituye una base metodológica para la realización de otras investigaciones sobre el tema.

En la tercera y última parte del trabajo se resumen los resultados de las investigaciones relacionadas con la introducción de herramientas de mayor actualidad y precisión utilizadas en los estudios más avanzados a nivel mundial relacionados con la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos: modelos de simulación y técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales. En este sentido se resumen los resultados de la calibración y validación de dos modelos de simulación a partir de resultados seleccionados de experimentos de campo realizados en Cuba en los cultivos de ajo y cebolla. Se presentan para estos cultivos los coeficientes duales, determinados por primera vez en Cuba, y se definen las bases metodológicas y de cálculo para la introducción de este enfoque en la continuidad de los estudios sobre las necesidades hídricas en diferentes condiciones de suelo, cultivo y clima.

También se resumen en esta última parte del trabajo los aportes metodológicos para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y de redes neuronales artificiales. La integración de tecnologías de avanzada en un soporte único, constituyen partes esenciales de las bases cognitivas y metodológicas para la introducción en Cuba del “pronóstico de riego asistido, mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales” que podrá estar disponible y operativamente utilizable para los usuarios mediante el servicio de asesoramiento al regante, de modo que contribuya a la toma de decisiones en la gestión del recurso agua con fines de regadíos.

## **Principales Resultados.**

### **Parte I. Actualización de coeficientes y metodologías de cálculo de los balances hídricos para la cuantificación de la evapotranspiración de los cultivos agrícolas.**

#### **1.1. Determinación de coeficientes de cultivo, $K_c$ , para cultivos de interés agrícola en diferentes condiciones de producción.**

Desde finales de la década del 70, el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, IIRD, hoy Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, IAgric, se dió a la tarea de investigar en el tema del régimen de riego. En tal sentido, se estudiaron las necesidades hídricas de los cultivos y se determinaron los coeficientes bioclimáticos según la Norma Cubana 48-46 formulada en 1987, sobre el Cálculo del Régimen de Riego de Proyecto (en tiempo probabilístico) y de la Norma Ramal 709 del 1986 (para tiempo real), vigente en la actualidad, y se tuvo por objetivo, establecer el procedimiento a seguir para determinar el momento de riego a través del método bioclimático, utilizando el método de evaporímetro de tanque Clase A para la evaporación como elemento climático al 75% y el 25 % de la lluvia aprovechable.

Posteriormente, a partir de las actualizaciones de las nuevas tendencias mundiales de la FAO, Centro internacional de Riego y Drenaje (ICID) y la Organización Mundial de Meteorología (OWM), se procedió a actualizar los coeficientes de cultivo para diferentes ambientes productivos, teniendo en cuenta la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) como elemento integrador de la velocidad de viento, humedad relativa, insolación y temperatura ambiente, determinada por el método de Penman Monteith modificada por FAO (1996) y en este caso ajustada a las condiciones geográficas de Cuba por Menéndez, Solano y Vázquez (1999).

Los coeficientes de cultivos se ajustan al cálculo de los requerimientos hídricos bajo los enfoques de coeficiente único ( $K_c$ ), dual ( $K_b+K_c$ ), de estrés hídrico ( $K_s$ ), según Allen et al (2006) y como factor de rendimiento ( $K_y$ ). Todos relacionados con la evapotranspiración. El coeficiente único de cultivo ( $K_c$ ), es representante de las demandas de agua de cada cultivo en particular y por ello, puede utilizarse en distintas áreas geográficas. Este hecho, constituye la razón principal de su aceptación general. (Allen et al., 2006). No obstante, los mismos autores recomiendan la utilización de valores locales, para aumentar la exactitud del método, siempre que sea posible. La mejor compilación global (Allen et al, 2006) incluye  $K_c$  determinados desde desiertos a zonas templadas, con relativa escasez de zonas tropicales.

En el contexto actual y futuro se sabe que la escases de agua es un problema presente en Cuba (García y Cantero, 2008), a consecuencias de la variabilidad climática inducida por el cambio climático global, por tanto se hace imprescindible aumentar la eficiencia en el uso del agua de riego por ser la actividad que consume más del 60% del agua disponible y una de las estrategias fundamentales que tiene la agricultura para adaptarse a estas condiciones es precisando los cálculos de las necesidades hídricas, para lo cual el coeficiente de cultivo es un parámetro esencial.

Estas razones impulsaron en el IAgric la realización de investigaciones dirigidas a actualizar y determinar coeficientes de cultivos de interés agrícola en diferentes condiciones de producción: a cielo abierto, en organopónico y en condiciones protegidas, los cuales permitirán a su vez las actualizaciones de las normas netas de los cultivos agrícolas para diferentes escenarios climáticos. Los resultados se validaron

calculando el régimen de riego con el programa CROPWAT v 8.0 (Martin Smith et al, 2007) recomendado por la FAO.

Se presentan los coeficientes,  $K_c$ , de 27 cultivos de interés agrícola en diferentes condiciones de producción: cielo abierto, organopónico y en condiciones protegidas y los parámetros agronómicos para los cálculos de las necesidades hídricas de los cultivos, tales como duración de las fases de desarrollo, profundidad de las raíces, y agotamiento crítico al que fueron determinados los coeficientes. En algunos casos se presentan por variedades y épocas de siembra.

Cuando se comparan las series de  $K_c$  obtenidos para Cuba y la serie internacional presentada por Allen et al. (2006) bajo el auspicio de FAO, puede observarse que los  $K_c$  de Cuba presentan valores menores, lo que se explica debido a que en el área de estudio, la humedad relativa es mayor (79%) y la velocidad del viento promedio menor (1,4 m  $s^{-1}$ ) según lo reportado por Solano et al. (2003), en comparación con los estándares de los estudios FAO (humedad relativa promedio mínima diaria de aproximadamente del 45% y velocidad del viento con promedio de 2m  $s^{-1}$ ) (Allen et al., 2006). Esta situación puede considerarse como una expresión de las condiciones tropicales, válidas para Cuba y la región del Caribe.

1.2. Actualización de metodología y procedimiento de cálculo de los balances hídricos para la precisión en la estimación de la evapotranspiración del cultivo,  $E_{Tc}$ , y el pronóstico del riego.

Los estudios realizados en este tema permitieron profundizar en el conocimiento de los procesos que limitan la disponibilidad del agua del suelo para las plantas en las condiciones de la región del sur de La Habana; y a partir de éstos se pudo establecer una base metodológica para la precisión del procedimiento vigente hasta ese momento en la cuantificación de los balances hídricos en estos sistemas.

Para estos estudios se analizaron los resultados de las experiencias básicas realizadas en la Estación de Riego y Drenaje de Alquizar para la determinación de los coeficientes bioclimáticos de cultivo, las cuales ya fueron mencionadas anteriormente. Se escogieron para este trabajo tres casos de estudio: los dos primeros casos involucran el cultivo del Frijol y el Papayo, característicos de la zona con ciclos culturales diferentes, sobre suelo Ferralítico Rojo compactado, sometidos a diferentes técnicas y manejos del riego. El tercer caso analiza otra condición de suelo en lisímetro, donde se simula durante todo el ciclo del cultivo del Boniato un nivel freático sostenido a los 45cm de la superficie.

Los resultados de este trabajo permitieron concluir que no tener en cuenta las pérdidas por redistribución o drenaje interno dentro de los egresos del balance hídrico puede conllevar generalmente a la sobrestimación y/o subestimación de la  $E_t$  del cultivo. Esto va a depender entre otros factores de la humedad precedente al riego y la cantidad de los ingresos que se produzcan por riego y lluvia (entre 15% y 55% para manejos de agua que van desde el secano hasta el riego de alta frecuencia). En presencia de un nivel freático cercano a la superficie (40cm), el proceso puede invertirse y pasar a ser la mayor parte del ciclo de ascensión capilar, por lo que constituirá un ingreso a considerar en la estimación de la  $E_t$  del cultivo.

Las diferencias entre los modelos de balances se reflejaron también en los pronósticos de hasta 3 riegos innecesarios por el balance tradicional con respecto al de masas. El modelo encontrado para estimar las pérdidas diarias por drenaje interno en suelos Ferralíticos, en función de la humedad precedente y los ingresos totales diarios, resulta una herramienta práctica para la cuantificación de los balances hídricos en función del pronóstico del riego de los cultivos agrícolas de la zona de estudio.

Por otra parte la nueva propuesta metodológica que se plantea para la cuantificación de los balances hídricos, integra los aspectos relacionados con las particularidades de las transferencias hídricas a través del subsistema agua-suelo, permitiendo lograr una mayor precisión en el cálculo de la evapotranspiración así como del pronóstico del riego de los cultivos agrícolas.

## **Parte II. Obtención de funciones agua-rendimiento e indicadores de productividad agronómica del agua.**

En la actualidad, aproximadamente el 59,7% del total de agua planificada para todos los usos en Cuba se utiliza en la agricultura, pero no más del 50% de esa agua se convierte directamente en productos agrícolas. Bajo estas condiciones y ante la necesidad de un uso más eficiente de este insumo en un horizonte futuro de escasez del mismo, se hace imprescindible contar con índices de consumo del agua utilizada para el riego de los cultivos con vistas a su adecuada planificación y control. Este trabajo tuvo como objetivo general estimar las funciones agua-rendimiento de diferentes cultivos de interés agrícola y definir indicadores de productividad agronómica del agua. A partir de los datos disponibles de experimentos de campo realizados principalmente en la estación experimental del Instituto de Riego y Drenaje (hoy IAgriC) localizada en el municipio de Alquizar (provincia de Artemisa) se determinaron las funciones agua-rendimiento y los indicadores de productividad agronómica del agua para diferentes cultivos de interés agrícola, con resultados aceptables de los parámetros estadísticos evaluados. Fue posible establecer un agrupamiento de los diferentes cultivos en dependencia del valor del factor de sensibilidad al déficit hídrico ( $K_y$ ) estimado en este estudio. A partir de estos resultados se presentan los índices potenciales de productividad del agua para 17 cultivos. Algunos de ellos como el garbanzo, malanga, boniato, yuca y papayo sin referencias de estos valores hasta el momento en la literatura internacional. Estos valores permitirán cuantificar, mediante referencias nacionales, la eficiencia de utilización del agua de riego. Tanto los factores de sensibilidad al déficit hídrico como los indicadores de productividad del agua que se obtuvieron resultan parámetros factibles de introducir como indicadores de eficiencia en el planeamiento del uso del agua en la agricultura.

Este resultado está dedicado a un tema de gran actualidad, pues está dirigido a aplicar las funciones agua rendimiento y los indicadores de productividad del agua en el planeamiento del uso del agua para el riego, ya que aportan criterios técnicos económicos para la distribución del agua disponible entre un grupo de cultivos, a fin de maximizar la producción o la ganancia económica en condiciones de déficit hídrico, la cual tiene una alta aplicación en el ámbito internacional, sin embargo en Cuba su utilización ha sido muy escasa.

Tiene además un impacto técnico importante ya que a partir de la integración de resultados de investigación de más de 30 años en necesidades hídricas de los cultivos

agrícolas realizadas en Cuba, se definen las funciones agua rendimiento y el factor de sensibilidad al déficit hídrico para 17 de los cultivos de mayor interés económico en Cuba, funciones de gran utilidad en la definición de estrategias de riego cuando hay limitaciones de agua. Con este trabajo, por primera vez se presenta un agrupamiento de los cultivos en función de los valores del factor de sensibilidad al déficit hídrico, del cual no existen referencias para condiciones edafoclimáticas similares a las de Cuba.

La aplicación permitió hacer recomendaciones para la Introducción de los factores de sensibilidad al déficit hídrico y los indicadores de productividad obtenidos como herramientas para la toma de decisiones en el planeamiento del uso del agua a nivel local y regional, así como para la evaluación de la eficiencia de su uso y de las posibles afectaciones en los rendimientos por la disminución del recurso agua para el riego y constituye una base metodológica para la realización de otras investigaciones sobre el tema.

La definición de la productividad agronómica del agua de riego constituye una herramienta eficiente en el planeamiento, diseño y operación del suministro de agua a los cultivos y su aplicación lleva implícito un impacto económico-ambiental sobre el aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos involucrados en las prácticas de riego para la producción agrícola, cuestión de vital importancia en el contexto actual dado los efectos del cambio climático sobre la disminución de la disponibilidad del agua. Los resultados de este trabajo permitieron determinar para 17 cultivos de interés su potencial de producción, contribuyendo a la definición de estrategias que den respuesta al problema de la escasez de agua y a la seguridad alimentaria a un costo ambiental más bajo. La importancia de las necesidades de agua para la producción de alimentos hace que cualquier pequeña ganancia relativa en este sector signifique una ganancia importante para otros usos. Un incremento de la productividad del agua de 1% en la producción de alimentos genera un potencial de uso de agua de 24 l/d/per cápita. La aplicación de estos resultados como herramienta para el Plan del Uso del Agua, instrumento incorporado ya al Plan de la Economía, permitirá evaluar los rendimientos potenciales a obtener en función de los consumos de agua y prever las pérdidas por afectaciones en la disponibilidad del recurso, para tomar decisiones oportunas que permitan reducir afectaciones económicas.

### **Parte III. Introducción de herramientas de modelación y técnicas de la geomática para la precisión en la estimación de la evapotranspiración y los coeficientes de cultivo.**

3.1. Aplicación de herramientas de modelación para la precisión de coeficientes de cultivos: único y dual.

El uso eficiente del agua es un problema vital para la sostenibilidad de la agricultura cubana. Un primer paso en este sentido lo constituye la precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Este trabajo tuvo como objetivo general mejorar la precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos, a partir de la validación de modelos de simulación que permitan actualizar los coeficientes de cultivo y otros parámetros del uso del agua por las plantas, para condiciones representativas de la agricultura cubana.



Se calibraron y validaron a partir de experimentos de campo realizados en las condiciones del sur Artemisa, los modelos de simulación WinISAREG y SimDualKc para la precisión de los coeficientes únicos y duales de los cultivos de Ajo (*Allium sativum* L.) “Santic Spiritus” y Cebolla (*Allium cepa* L.) “Red Creole”.

En todos los casos se obtuvo un buen ajuste de los datos simulados y observados, con valores aceptables de los parámetros estadísticos evaluados. Los coeficientes resultaron superiores a los reportados en estudios anteriores para las mismas condiciones y esto se considera relacionado con las simplificaciones asumidas en esos estudios para el cálculo del balance hídrico del suelo.

Los resultados de la utilización del modelo WINISAREG en la optimización de calendarios de riego en los cultivos y condiciones estudiados, demuestra que es una herramienta eficiente para optimizar el consumo de agua y el rendimiento de los cultivos, minimizando las pérdidas por percolación y aumentando o manteniendo la productividad del agua aplicada.

### 3.2. Contribución metodológica para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales.

Con el lanzamiento del sensor satelital MODIS (Moderada resolución de imágenes espectralradiométricas) de dominio público en la Internet, se presenta una nueva posibilidad de la estimación de variables meteorológicas, para estudios de los flujos de calor y la evapotranspiración.

Las imágenes generadas de estos satélites en combinación con modelos de inteligencia artificial, como las redes neuronales artificiales, constituyen una poderosa herramienta de modelación no lineal con un enfoque no paramétrico, sin restricciones en cuanto a dependencias estadísticas de los datos de entrada aplicables a informaciones de un comportamiento estocástico y difuso, práctico para el análisis de complejos ecosistemas como la evapotranspiración, dando respuestas en condiciones de incertidumbre.

Los resultados obtenidos consisten en los aportes metodológicos para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y de redes neuronales artificiales y la generación de imágenes sintéticas de variables meteorológicas a partir de productos radiométricos satelitales. Los modelos desarrollados ofrecen resultados prometedores, al encontrar relaciones consistentes y significativas, al validar estos con los procedimientos estándar a partir de la ecuación de la FAO Penman-Monteith (Allen et al., 2006).

La integración de tecnologías de avanzada en un soporte único, constituyen partes esenciales de las bases cognitivas y metodológicas para la introducción en Cuba del “pronóstico de riego asistido, mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales” que podrá estar disponible y operativamente utilizable para los usuarios mediante el servicio de asesoramiento al regante, de modo que contribuya a la toma de decisiones en la gestión del recurso agua con fines de regadíos.

## Referencias

- [1] **Zamora, H. E.** Informe Final proyecto 22- 27 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje, 2009.
- [2] **Bonet, P. C.** Informe Final proyecto 22-52 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje, Determinación del régimen de riego del cultivo de la piña (*Ananas comosus L. Merr*), 2011.
- [3] **González, R. F.** Informe Final proyecto 22-08-01 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje, 2012.
- [4] **Duarte, C.** Informe Final proyecto 22-06-01 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje, 2012.
- [5] **Duarte, C.** Informe Seguimiento proyecto P211LH1016: Ajuste de las normas netas de riego para el pronóstico de riego de los cultivos agrícolas en Cuba en función de la variabilidad climática, Programa Cambio Climático en Cuba: impactos, mitigación y adaptación, 2013-2015.
- [6] **Aguilar, S. E.** Precisión en la programación de riego para el cultivo de la papa, regado con máquinas de pivote central en la Finca Girón de Güira de Melena. Tesis presentada en opción al título de Especialista en Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje. 55 pp. 2012.
- [7] **Méndez, A.** Contribución metodológica para la estimación de la Evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales., 141 pp. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 2011.
- [8] **Bonet, P. C.** Tecnología integral para el riego del cultivo de la piña (*Ananas comosus l. Merr*) en sistemas productivos de la provincia Ciego de Ávila, 152pp. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 2012.
- [9] **Chaterlán, Y.:** Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Caso de estudio: cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa, 156pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 2012.
- [10] **González, R. F.:** Funciones agua-rendimiento para cultivos de importancia agrícola en Cuba, 140 pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 2013.

[11] **Zamora, E.I.:** Conocimiento experimental local base científica para la creación de herramientas gerenciales en la gestión de agua de riego en el municipio Alquizar, provincia Artemisa. 66pp, Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias en Desarrollo Agrario y Rural, Universidad Agraria de La Habana, 2014.

### **La novedad e impacto científico de los resultados**

- ✓ Se presentan los coeficientes,  $K_c$ , de 27 cultivos de interés agrícola en diferentes condiciones de producción: cielo abierto, organopónico y en condiciones protegidas y los parámetros agronómicos para los cálculos de las necesidades hídricas de los cultivos al que fueron determinados.
- ✓ La comparación de las series de  $K_c$  obtenidos y la serie internacional definida bajo el auspicio de FAO, definen valores menores para Cuba dados por las diferencias en las variables climáticas y esta situación puede considerarse como una expresión de las condiciones tropicales, válidas para Cuba y la región del Caribe.
- ✓ Se definió una base metodológica para la precisión del procedimiento de cuantificación de los balances hídricos en los sistemas agrícolas que contribuye a una mayor exactitud en la determinación de las necesidades de agua de los cultivos agrícolas.
- ✓ La aplicación de la herramienta diseñada en hoja excel para la introducción de estos resultados fue validada en las condiciones de producción del cultivo de la papa bajo máquinas de riego de pivote central de la Empresa Agropecuaria Güira de Melena, representativas de la región del sur de La Habana.
- ✓ Se obtiene una base de datos sobre necesidades hídricas y respuesta al agua en diferentes cultivos y regiones de Cuba, a partir del ordenamiento de los resultados experimentales de más de 30 años realizados en Cuba.
- ✓ Se estiman las funciones agua rendimiento para 17 cultivos de interés agrícola.
- ✓ Se obtiene el Factor de Sensibilidad al Déficit Hídrico para 17 cultivos de interés agrícola.
- ✓ Se logró por primera vez en Cuba un agrupamiento de los cultivos en función del factor de sensibilidad al déficit hídrico.
- ✓ Se logró por primera vez en Cuba la determinación de los rangos de la Productividad agronómica del agua y los valores potenciales de productividad del agua aplicada y consumo específico para 17 cultivos de interés agrícola.
- ✓ Se logró recomendar e introducir en la práctica a los factores de sensibilidad al déficit hídrico y los indicadores de productividad del agua que se obtuvieron, como parámetros factibles de introducir como indicadores de eficiencia en el planeamiento del uso del agua en la agricultura, con lo cual es posible reducir los volúmenes de agua a aplicar y elevar la relación beneficio-costos actual.
- ✓ Los resultados de la calibración y validación de dos modelos de simulación en los cultivos de ajo y cebolla, permitió definir por primera vez en Cuba los coeficientes duales para estos cultivos y las bases metodológicas y de cálculo para la introducción de este enfoque en la continuidad de los estudios sobre las necesidades hídricas.
- ✓ Los aportes metodológicos para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y de redes neuronales artificiales integradas en un soporte único constituyen partes esenciales de las bases cognitivas y metodológicas para la introducción en Cuba del “pronóstico de riego asistido mediante estas técnicas” que contribuye a la toma de decisiones en la gestión del recurso agua con fines de regadíos.

### **Impactos Científico**

- ✓ Se generaron nuevos conocimientos en varios aspectos importantes en el campo de las necesidades hídricas y la respuesta al agua de cultivos de importancia agrícola en Cuba: 1)

la actualización de coeficientes y metodologías de cálculo de los balances hídricos para la cuantificación de la evapotranspiración de los cultivos agrícolas , 2) la determinación de las funciones agua-rendimiento y los indicadores de productividad del agua como herramientas para la evaluación de la respuesta de los cultivos al riego y 3) la introducción de herramientas de mayor actualidad y precisión en estos estudios- modelos de simulación y técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales.

- ✓ El trabajo constituyó un logro avalado por instituciones científicas nacionales y extranjeras.
- ✓ El resultado del trabajo ha generado 4 informes finales de proyectos, 4 tesis de doctorado, 2 tesis de maestría, 32 publicaciones científicas, 17 participaciones en eventos científicos, 1 premio innovación tecnológica, 2 premio nacional MINAG, 3 premios al artículo Científico publicado que refleje el trabajo de mayor trascendencia y originalidad científica del Comité Editorial Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 4 premios en el FORUM de Ciencia y Técnica (3 relevantes y 1 destacado) y otros reconocimientos.

### **Social**

- ✓ Se incorporaron los resultados de estos estudios a los materiales docentes de los programas de postgrado que ejecuta el IAgri de conjunto con la Universidad de Ciego de Ávila (UNICA) relacionados con la Maestría y Especialidad en Riego y Drenaje, de los cuales se han concluido satisfactoriamente la primera edición con un total de 13 profesionales graduados procedentes de entidades científicas y productivas de diferentes provincias del occidente del país y está en proceso la segunda edición de la Especialidad con 10 profesionales de entidades agrícolas productivas.
- ✓ También se han incorporados los resultados en los materiales de capacitación de los talleres, cursos y otras acciones (90 en total en los últimos 3 años) para profesionales y técnicos relacionados con la actividad del riego y el drenaje en todo el país, con un total de 1500 personas capacitadas entre estudiantes de nivel superior, técnicos y profesionales de la práctica productiva, productores y extensionistas.
- ✓ Estos resultados se concretaron en la obtención de dos títulos de Master en Ciencias en la especialidad de Riego y Drenaje y Desarrollo Agrario y Rural y 4 de Doctorado en Ciencias Técnicas Agrícolas.

### **Económico**

- ✓ La utilización de los coeficientes actualizados y la nueva metodología propuesta para la estimación de las necesidades hídricas y el pronóstico del riego, lleva implícita un impacto económico y ambiental con respecto a la existente, que se traduce fundamentalmente en el ahorro de recursos hídricos y energéticos y en el aumento de la eficiencia en el uso del agua, cuestión que garantiza un manejo adecuado del riego con el consiguiente impacto positivo sobre los agro ecosistemas.
- ✓ La disminución del número de riegos pronosticados con estas herramientas repercute en un decremento de los costos de producción debidos al riego de alrededor del 25%, lo que se traduce en un ahorro estimado por concepto de agua, energía y otros gastos asociados a las labores del riego de 35 \$/ha y considerando esta diferencia en el costo como el valor promedio para toda el área del país donde se cultiva granos y viandas bajo diferentes técnicas de riego se puede estimar un ahorro total para la agricultura nacional de \$ 4 731 940 en cada campaña de riego.
- ✓ Por otra parte la aplicación de la herramienta hoja excel generada en las condiciones de la Empresa Agropecuaria Güira de Melena permitió definir una disminución de cerca del 17% en el consumo del recurso agua y un aumento del rendimiento agrícola en un 16% para el cultivo de la papa bajo máquinas de riego, a favor del riego programado con esta

herramienta. Si se tiene en cuenta que la Empresa Agropecuaria de Güira de Melena tiene un área total de siembra de papa bajo máquinas de riego de pivote central de 584 ha se obtendrían reducciones posibles del volumen de agua a utilizar de 551078.9 m<sup>3</sup>, lo que representa cerca del 5% de la demanda de agua total de la Empresa para el cultivo de la papa, que asciende a cerca de 12 Mm<sup>3</sup>.

## **Anexos**

### **Informe finales de proyectos**

1. Actualización de los Coeficientes de cultivos Proyecto 22-27 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje. 2009.
2. Determinación del régimen de riego del cultivo de la piña (*Ananas comosus L. Merr*)” proyectos 22-52 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje, 2011.
3. Aplicación de herramientas de modelación y optimización en la predicción de estrategias de manejo del agua, recursos energéticos y maquinaria agrícola en diferentes condiciones de cultivos y suelos de Cuba. Proyecto 22-08-01 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje. 2012.
4. Precisión de requerimientos de riego de cultivos agrícolas cubanos en diferentes zonas edafoclimáticas. Proyecto 22-06-01 del PRCT 22: Programa Ramal Riego y Drenaje. 2012.
5. Ajuste de las normas netas para el pronóstico de riego de los cultivos agrícolas en Cuba, en función de la variabilidad climático. Proyecto P211LH1016, Programa: Cambio climático en Cuba: impactos, mitigación y adaptación, Informe 2014.

### **2 tesis de maestría**

1. Elier Aguilar Solares. Precisión en la programación de riego para el cultivo de la papa, regado con máquinas de pivote central en la Finca Girón de Güira de Melena. Tesis presentada en opción al título de Especialista en Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje, UNICA-IAgric, La Habana, 2012.
2. Elisa I. Zamora Herrera. Conocimiento experimental local base científica para la creación de herramientas gerenciales en la gestión de agua de riego en el municipio Alquizar, provincia Artemisa. 66pp., Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias en Desarrollo Agrario y Rural, Universidad Agraria de La Habana, 2014

### **Publicaciones**

1. BONET, C., ACEA, I., BROWN, O., HERNANDEZ, M. Y DUARTE, C. Coeficiente de cultivo para la programación del riego de la piña. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 19(3): 23-27. 2010.
2. BONET, C. y GUERRERO, P. Evapotranspiración de la piña (*Ananas comosus L. Merr*). *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 2(2): 39-46, 2012.
3. CHATERLÁN, Y, PAREDES, P, ROSA, R, HERNÁNDEZ, G, LÓPEZ, T, PEREIRA, LS. Estimación de las necesidades hídricas de la papaya utilizando la aproximación de los coeficientes culturales duales. In: *VI Congresso Ibérico de Agro-Engenharia*, Secção Espec. Eng. Rural/SCAP e Soc. Espanhola de Agro-Engenharia, Évora, CD-ROM. 2011.
4. CHATERLÁN Y., DUARTE C., LEÓN M., PEREIRA, L.S., TEODORO, P. R., GARCÍA, R.R. Coeficientes de cultivo de la cebolla y su determinación con el modelo ISAREG. Libro Modernización de Tecnologías de Información (Taller Internacional, La Paz, Bolivia, sep. 2007) Ruz and L. S. Pereira (eds) CYTED and PROCISUR/Montevideo, 2008 pp. 23-25 + CD-ROM paper 14. Trabajo completo. In: E. Ruz and L.S. Pereira (eds.) Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información. CYTED and PROCISUR/IICA, Montevideo 2008.

5. CHATERLÁN Y., P. PAREDES, PEREIRA L.S. Rega de hortícolas em clima tropical húmido. In: Engenharia dos Biosistemas, Cem temas de investigação no Centenario do ISA. Edições Colibri e CEER, Lisboa, pp. 93-96. ISBN 978-989-689-093-3. 2011.
6. CHATERLÁN, Y., HERNANDEZ G., PAREDES, P., LÓPEZ, T., PEREIRA, L.S., MARTÍNEZ R., PUIG, O., Estimation of the Papaya crop coefficients for improving irrigation water management in South of Havana. In: 28th International Horticultural Congress "Science and horticulture for people", Lisbon, 22-27 August 2010, Book of abstracts, Volume II (Symposia), pp. 752. 2010.
7. CHATERLÁN, Y., HERNÁNDEZ, G., LÓPEZ, T., MARTÍNEZ, R., PUIG, O., PAREDES, P. AND PEREIRA, L.S. Estimation of the Papaya crop coefficients for improving irrigation water management in south of Havana. *Acta Hort. (ISHS)* 928:179-186 [http://www.actahort.org/books/928/928\\_21.htm](http://www.actahort.org/books/928/928_21.htm) *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* Vol. 21 No. 1. 2012. p 37 – 42. 2012.
8. CHATERLÁN, Y., M. LEÓN, C. DUARTE, P. PAREDES, T. LOPEZ, AND L.S. PEREIRA.. Determination of crop coefficients for horticultural crops in Cuba through field experiments and water balance simulation. *Proc. 6th IS on Irrigation of Hort. Crops* Eds.: Ortega-Farias and Selles. *Acta Hort.* 889, ISHS 2011, pp 475 – 482. *Rev Cie Téc Agr* [online]. 2010, Vol.19, n.1, pp. 90-95. ISSN 2071-0054. 2011.
9. CHATERLÁN, Y., PAREDES, P., R ROSA, HERNÁNDEZ, G., Y LÓPEZ, T. Estimación de las necesidades hídricas de la papaya utilizando la aproximación de los coeficientes culturales duales. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 3 No. 2, 2013 pp. 39-45. ISSN – 2227-8761, RNPS – 2284. 2013.
10. CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E. Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*. Vol. 2(2): 26-33. 2012.
11. CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E. Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 20(2): 42-46. 2011.
12. DUARTE, C.; ZAMORA, E. y LEON, M.: Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* Vol. 21(4): 42-47. 2012.
13. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.: Factor de respuesta del rendimiento de cultivos de interés agrícola en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 18(3): 7-13, 2009.
14. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.: Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 19(1): 65-72, 2010.
15. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; CID, G.: Productividad del agua en el cultivo de maíz en condiciones del sur de La Habana. *Revista Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, Universidad Autónoma Chapingo, Vol. 2(2): 81-86, julio-diciembre, 2010.
16. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; CID, G G.: Respuesta del sorgo al riego en dos épocas de siembra. Función agua rendimiento. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 20(1): 40-46, 2011.
17. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; CID, G.: Respuesta de los cultivos al déficit hídrico. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol 1(1): 19-23, 2011.
18. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; CID, G.: Productividad agronómica del agua. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 1(1): 40-44, 2011.
19. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; CID, G.: Base de datos sobre necesidades hídricas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 21(2): 42-47, 2012.

20. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; CID, G.: Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 22(3): 5-11, 2013.
21. GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; CID, G.: Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 23(3): 12-17, 2014.
22. HERNÁNDEZ, G.; MARTÍNEZ, R.; PEREZ, O.; LÓPEZ, T. y SOTOMAYOR, G. Elementos agronómicos para el riego localizado en el cultivo del papayo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 12(2): 55-60, 2003.
23. HERRERA, J.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.: Sobre el uso del agua en la agricultura en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 1(1): 3-7. 2011.
24. HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F. y ZAMORA, E. Coeficientes de cultivo (Kc) del King grass para diferentes épocas del año y edad de la planta, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 19(1): 44-49, 2010.
25. MÉNDEZ, J., SOLANO, O., RUISECO, D., GONZÁLEZ, F. Análisis espacio-temporal de la evapotranspiración de referencia ETo en Cuba. *Jornal SELPER International*. Sociedad Latino Americana de Percepción Remota Satelital. Editorial SELPER PRODITEL. Universidad Nacional de Lujan. Buenos Aires Argentina. Volumen 26. No.1. Junio 2008. ISSN 0717-2915. 2008.
26. MÉNDEZ, J., GARCÍA, E., SOLANO, O. Estimación de la evapotranspiración mediante procesamiento de imágenes satelitales y redes neuronales artificiales. Convención Internacional Ingeniería Agrícola 2009. I Simposio de Geomática Aplicada a la Ingeniería Agrícola. Artículo G-4. ISBN 978-959-282-088-1. 2009.
27. MÉNDEZ, J., SOLANO, O. y PONCE DE LEON, D. Valoración de las incertidumbres en la estimación de la evapotranspiración de referencia en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 21(2): 53-61, 2012.
28. LÓPEZ, T., GONZÁLEZ, F., CHATERLÁN, Y., CID, G., DUEÑAS, G., CASANOVA, A. Los modelos de simulación como herramienta eficaz para el estudio del manejo del agua y la fertilización en diferentes sistemas de cultivos agrícolas en el sur de la Habana, pp.: 150-171. In: Estado del arte de la bioeconomía y el cambio climático. Red CYTED, 329pp., Red Bioeconomía y Cambio Climático (REBICAMCLI), Editorial Universitaria UNAN, León, Nicaragua, 2014.
29. LÓPEZ, T.; HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.; CID, G.; CHATERLÁN, Y. Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 18(3): 1-6, 2009.
30. LÓPEZ, T.; CID, G.; GONZÁLEZ, F.: Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelos y disponibilidad hídrica. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 1(1): 24-29, 2011.
31. RODRIGUEZ, M.; LOPEZ, T. Comportamiento de la zona radical activa del banano en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y subsuperficial, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 23(3): 5-10, 2014.
32. ZAMORA, E.; DUARTE, C.; CUN, R.; PEREZ, R. y LEÓN, M. Coeficientes de cultivos (Kc) en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 4(3): 24-29, 2014.