

INFORME FINAL DE PROYECTO

RESUMEN EJECUTIVO

- **Identificación del proyecto:**

Título: Ajuste de las normas netas para el pronóstico de riego de los cultivos agrícolas en Cuba, en función de la variabilidad climática.

Código:CC-016

Institución Ejecutora: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.

Período de ejecución: 2013-2016

- **Colectivo de autores** expresando el grado de participación de cada uno de ellos y sus instituciones de procedencia.

Carmen Duarte Díaz	20%	IAgric
Elisa Zamora Herrera	15%	IAgric
Aymara García López	10%	IAgric
Reinaldo Rodríguez	10%	IAgric
Julián Herrera Puebla	10%	IAgric
Felicita González	10%	IAgric
Teresa López	10%	IAgric
Roberto Martínez	5%	IAgric
Ricardo Pérez	10%	IAgric
Greco Cid Lazo	10%	IAgric
Aleida Leiva Leiva	10%	IAgric
Reinaldo Cun González	10%	IAgric
Dariel González	50%	IAgric
Joaquín Guzmán Vizcaíno	30%	IAgric
Yoel Sánchez Pantaleón	30%	IAgric
Yodelaine Gómez Beritán	50%	IAgric
Carlos Iglesias	5%	IAgric
Magdalena Pedroso Pérez	50%	IAgric
Osvaldo Campos Piedra	50%	IAgric
Jorge Aguilera Díaz	50%	IAgric
Norma Jiménez	40%	IAgric
Omar Puig Estrada	40%	IAgric
Enrique Cisneros	10%	IAgric
Camilo Bonet	20%	IAgric- Camaguey
Pedro Guerrero	20%	IAgric- Camaguey
Amelia González	10%	IAgric- Camaguey
Dania Rodríguez	20%	IAgric- Camaguey
Carlos Lamela Felipe	20%	INICA
Reinaldo Roque	20%	INICA
Lázaro A. Maquería López	20%	INCA L. P.
Michel Ruiz Sánchez	20%	INCA L. P.

- **Objetivos planteados en el proyecto y resultados alcanzados.** (Síntesis)

Objetivo General:

Ajustar las normas netas de riego de los cultivos en diferentes contextos de producción y zonas edafoclimáticas del país, teniendo en cuenta la estimación de la variabilidad climática de los próximos años.

Objetivos Específicos:

-Estimar y precisar los requerimientos de riego de los principales cultivos de interés agrícola, a través de la utilización de herramientas computacionales, que faciliten la adaptación del pronóstico de riego, en función de la variabilidad climática, para diferentes escenarios agrícolas y períodos de tiempo

-Estimar las normas reducidas de riego de los principales cultivos de interés agrícola a partir de los coeficientes de estrés hídricos y en función de la predicción de la disponibilidad del agua en los escenarios agrícolas y períodos de tiempo evaluados

- **Ejecución y análisis del presupuesto** de gastos asignado y otros recursos utilizados.

Tabla 1. Evolución por años del proyecto del presupuesto asignado y ejecutado en miles de pesos

Entidades participantes	Años			
	2013	2014	2015	2016
Ejecutor principal	98.9	98.9	182	194
Ejecutado del presupuesto	27.93	77.6	182	194
Otras entidades participantes (en el paréntesis lo ejecutado a partir de lo planificado)				
INSMET	8.4 (1.68)	5.0	-	-
INCA Los Palacios	6.7 (1.34)	4.2	3.2	3.2
INICA	10.8 (8.6)	9.72	4.2	4.2
Presupuesto anual del proyecto	109.2	109.2	198.4	209.5
Total ejecutado	39.55	96.52	86.85	143.2
% del presupuesto ejecutado	36.2	88.38	43.77	68.25

En la tabla 1 se aprecia que la ejecución financiera del proyecto ha transitado desde el 36 al 88 % de lo asignado reflejado a partir de la participación de las instituciones. El primer año 2013, resultó ser el menos ejecutado, por cuanto formó parte de la formulación del proyecto, conciliación de los contratos con las entidades participantes, así como del comienzo de búsqueda de información importante a tener en cuenta como un diagnóstico previo dirigido al punto de inicio del proyecto. En el año 2015, se decide desestimar la participación del INSMET, por cuanto aún cuando en los periodos de trabajo anteriores fue incluido en el presupuesto ejecutado ya en este momento se agotan las posibilidades de que participe como institución investigadora dentro del marco del proyecto. La entidad no firmó el contrato de trabajo conjunto decidiendo que fuera a través de un servicio establecido para el IAgri.

- **Correspondencia entre la relación costo-beneficio alcanzada y la prevista** (para los proyectos de innovación).

- **Valoración cualitativa:** Magnitud y características del aporte alcanzado: repercusión nacional o internacional, patentes, doctorados, eventos, publicaciones, etc. (No sólo debe especificarse la cantidad; también el nombre del evento o la revista donde publicó, el título del trabajo presentado o artículo publicado, de la tesis de doctorado, etc.)

Las actividades que resultaron como aportes del proyecto son las siguientes:

2013

- Resultado de investigación 2013. Base de datos de suelo y cultivos para el trabajo de ajuste de normas de riego. **Código 07RI47** Autores: Carmen Duarte, Teresa López, Elisa Zamora, Greco Cid, Aymara López, Reinaldo Rodríguez, Roberto Martínez, Felicita González, Julián Herrera, Noraida Piñón, Aleida Leiva, Camilo Bonet, Lázaro A. Maqueira López, Michel Ruiz Sánchez

-IV Congreso Latinoamericano de Agroecología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Uso del coeficiente de estrés hídrico y su efecto en el rendimiento del cultivo de cebolla, como estrategia de adaptación a los

efectos del Cambio Climático en Cuba. Autores: Carmen Duarte Díaz, Elisa Zamora Herrera, Teresa López Seijas, Julián Herrera. Este artículo fue publicado en las memorias del evento

-VII Seminario Internacional de Uso Integral del Agua. Aprovechamiento del agua disponible para riego en el complejo hidráulico oeste del municipio Camagüey Autores: Camilo Bonet, Pedro Guerrero, Carmen Duarte

2014

- Necesidades netas totales de agua para el riego de bananos y plátanos en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias Vol (), No (). Autores: Roberto Martínez y Reinaldo Rodríguez,

- Tesis en opción al título académico de Máster en Ciencias en Desarrollo Agrario y Rural "Conocimiento experimental local base científica para la creación de herramientas gerenciales en la gestión de agua de riego en el municipio Alquizar, provincia Artemisa". Autora: Ing. Elisa I. Zamora Herrera. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario Rural. (CEDAR) Universidad Agraria de la Habana. San José de las Lajas, 2014. (Febrero, 2014)

- Tesis de pregrado en elaboración. "Requerimientos de agua en el cultivo del arroz en La UEB "Sierra Maestra", Los Palacios, Pinar Del Río." Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), 2014. Autora: López, Gabriela Ruiz

2015

- XII Congreso Internacional de Ingeniería. VIII Seminario Internacional del uso integral del agua. Propuesta de nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba. Carmen Duarte, Julián Herrera, Teresa López y Elisa Zamora

- Ecoarroz 2015. INCA, L.P. Basal, un proyecto para impulsar medidas de adaptación al cambio climático, retos y perspectivas futuras. "Propuesta de uso eficiente del agua en el arroz" Carmen Duarte, Teresa López, Enrique Cisneros y otros autores

- Congreso Internacional de Suelos. Matriz de medidas de adaptación al cambio climático en la agricultura. Un nuevo enfoque sistematizador. Teresa López, Carmen Duarte, Bernardo Calero, Enrique Cisneros y otros autores.

- Convención de Ing. Agrícola. Riego y Drenaje en el cultivo de la piña (cultivar MD-2) en la provincia Ciego de Ávila. Camilo Bonet Pérez, Pedro Guerrero Posada, Johannis Hernández LLanes, Dania Rodríguez Correa, Yasmani La Rosa Fernández

Resultados introducidos:

Evapotranspiración y coeficiente de cultivo único del cafeto adulto para las condiciones biofísicas en la región de San Andrés, provincia Pinar del Río. Código: 07RI71

Autores: MSc. Enrique Cisneros Zayas (35%), Dr. C Reinaldo Rey García (15 %), Dr. C Roberto Martínez Varona (15%), Dra. C. Teresa López Seijas (15%), Dra. C Carmen Duarte Díaz (10%), MSc. Elisa Zamora Herrera (10%)

Publicaciones

Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia P. Río. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias ISSN- 1010-2760, RNPS- 0111, Vol (24), No (2). abril-mayo-junio, pp 23-30 2015
Autores: Enrique Cisneros, Reinaldo Rey, Roberto Martínez, Teresa López y Felicita González

- • Evapotranspiración real y coeficiente de cultivo de la lechuga (BSS-13) en condiciones de ojanopónicos. Reinaldo Cun, Carmen Duarte, Lorenzo Montero. Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2227-8761, RNPS-2284, Vol. 5, No. 2, (abril-mayo-junio), pp. 10-15, 2015

• Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba. Carmen Duarte, J. Herrera, Teresa López, Felicita González y Elisa Zamora. Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2227-8761, RNPS-2284, Vol. 5, No. 4, (octubre-noviembre-diciembre), pp., 2015

Resultados introducidos

- Propuesta metodológica para la predicción de las normas netas para el riego de la cebolla para los próximos 35 años climáticos..**Código: 07RI 89. Autores: Dra. C Carmen Duarte Díaz (15 %), MSc. Elisa Zamora Herrera (10%), Dra. C. Teresa López Seijas (10 %), Dr. C. Julián Herrera (10 %), Dr. C Camilo Bonet (10 %), Dr. Reinaldo Roque (10%), Dra. C. Felicita González (10%), Aymara García (10 %), MSc. Reinaldo Cun (5%), Enrique Cisneros (5%), Dr. C. Roberto Martínez (5 %)**

Propuesta de indicadores para el monitoreo de la efectividad de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático a escala local. Código: 07RI

-

Premios.

- Contribución al estudio de las necesidades hídricas de los cultivos de interés agrícola en Cuba. Carmen Duarte, Yoima Chaterlán, Felicita González y un numeroso colectivo de autores y colaboradores del IAgriC. Premio Academia 2015

- Respuesta productiva del cafeto al manejo del riego. Función agua- rendimiento. Enrique Cisneros, Felicita González, Roberto Martínez, Teresa López y Angel R. García. Premio de la Comisión Provincial del Fórum de Ciencia y Técnica. Categoría Relevante

2016

Publicaciones

-Propuesta de medidas de adaptación al Cambio Climático a implementarse en el sector agropecuario local en Los Palacios, Güira de Melena y Jimaguayú. En comité editorial de la revista Ingeniería Agrícola

-Tecnología integral para el riego de la piña (cultivar Española roja) en la provincia de Ciego de Ávila

Documento elaborado como folleto para orientación de los productores y técnicos vinculados al cultivo de la piña ha sido avalado por el Consejo Técnico del IAgriC y se encuentra en el IIFT para su publicación

Resultados a introducir

☐ Efecto del estrés hídrico en plántulas de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) 'MD-2' obtenidas mediante reproducción in vitro. Autores: Camilo Bonet Pérez¹, René Carlos Rodríguez Escriba², Romelio Rodríguez Sánchez², Pedro Guerrero Posada¹ (1) IAgriC, (2) Centro de Bioplantas de UNICA

Impacto: Resumen de estudios sobre el comportamiento de plántulas de piña MD-2 sometidas a condiciones de estrés hídrico

Tesis

- 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 de grado de estudiantes de la CUJAE carrera de Ingeniería Hidráulica Autora: Liniannys Verdecia.

-Predicción de las normas netas de riego de los cultivos de ajo y maíz a cultivarse en la zona occidental de Cuba en el período 2016- 2099 en función de la variabilidad y el cambio climático. Tesis de grado de estudiantes de la CUJAE carrera de Ingeniería Hidráulica Autora: Lismery Fernández.

Opinión del cliente: Anexar el modelo Opinión del Cliente

Vínculo con instituciones extranjeras o internacionales logrado.

El proyecto se vinculó con la Universidad Castilla La Mancha. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos, Albacete, España en Consultoría por R1 del Proyecto BASAL para marzo del 2016, sobre los temas comunes de:

- Uso eficiente del agua vinculada a la eficiencia energética
- Introducción de herramientas e indicadores que faciliten la evaluación de la efectividad de las medidas de gestión del agua.

Fecha: 16/03/2016 - 26/03/2016

Consultor: Dr. JOSÉ MARÍA TARJUELO MARTÍN – BENITO. Catedrático Ingeniería Agroforestal / Director del CREA (Centro Regional de Estudios del Agua)

Otros documentos que demuestren el logro de los objetivos planificados (dictámenes, certificados, publicaciones y otros)

INFORME CIENTÍFICO TÉCNICO

(Denominación del Programa de Ciencia y Técnica o Proyecto No Asociado a Programa según corresponda):
CAMBIO CLIMÁTICO EN CUBA: IMPACTOS, MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

Título del proyecto: Ajuste de las normas netas para el pronóstico de riego de los cultivos agrícolas en Cuba, en función de la variabilidad climática

Código: CC 016

Institución Ejecutora: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola

Fecha de terminación: 2016.

- **Resumen:** Breve resumen del informe (no más de 250 palabras)

El proyecto titulado Ajuste de las normas netas para el pronóstico de riego de los cultivos agrícolas en Cuba, en función de la variabilidad climática, tiene como objetivo específico “Ajustar las normas netas de riego de los cultivos en diferentes contextos de producción y zonas edafoclimáticas del país, teniendo en cuenta la estimación de la variabilidad climática de los próximos años”. Se trabajó indistintamente recopilando información de suelo, clima y cultivo y procesando a la vez y se apoyó en los datos climáticos presentes en el modelo PRECIS, escenario climáticos A2 seleccionado como de los más vinculados a la actividad del proyecto, utilizando tres puntos del país como representación de las zonas occidental, central y oriental en el periodo de mayor demanda hídrica por representar la fecha óptima de siembra de la mayoría de los cultivos. Por otra parte, se realizan actualizaciones de coeficientes de cultivos que se establecieron experimentalmente a cielo abierto, protegido y en organopónico y se calculan por primera vez los coeficientes de plátano y bananos, café y pastos de césped. En la evaluación de algunas variables del clima se aprecia la evolución de las temperaturas para los próximos años en forma distintiva a la actual, así como la reducción de las precipitaciones. Se muestran resultados de las normas a futuros de cultivos como tomate, ajo, cebolla, lechuga y maíz para realizar las correcciones pertinentes en el manejo del agua en el pronóstico de riego y de forma incipiente las normas reducidas en el cultivo de la cebolla a tiempo real para que sean extrapoladas a con ese manejo a las condiciones de los próximos años.

- **Introducción.** Objetivos generales y específicos

Cuba, es un país con una población de 11.3 millones de habitantes y superficie de 11.09 millones de ha. Tiene un clima tropical con una media de precipitaciones de 1375 mm anuales, cuya distribución representa el 80 % de la estación de lluvia, de mayo a octubre y el 20 % en la estación seca de noviembre a abril, lo que concuerda esta última con la época de siembra óptima para la mayoría de los cultivos. Los recursos hídricos aprovechables son del orden de 13 276 millones m³, de los que más del 60 % son utilizados en la agricultura y de ellos más de 90% en el riego de los cultivos agrícolas de 6.7 millones de ha en áreas agrícolas y cultivables 3.3 millones de ha (Puebla y Seijas, 2011).

Por otra parte, cabe recordar que la agricultura bajo riego en Cuba puede llegar a incrementar entre 15% y 50% la producción de los cultivos en comparación con las áreas de secano, cuestión importante para la contribución a la seguridad alimentaria de los cubanos. (Durruthy, 2012)

Por su situación geográfica como archipiélago y su forma alargada, enfrenta un gran peligro de desastres naturales, provocados fundamentalmente por eventos hidrometeorológicos extremos. El cambio climático ha constituido un gran desafío conceptual para los gestores hídricos, los usuarios de recursos hídricos (por ejemplo, en el sector agrícola) y, en conjunto, para los responsables de políticas, dado que es ya una

realidad que las condiciones climáticas e hidrológicas del pasado se mantendrán en el futuro (Bates et al, 2008)

Los propios autores plantean que la gestión de los recursos hídricos tiene un impacto innegable en muchas otras áreas de políticas (por ejemplo, energía, salud, seguridad alimentaria, o conservación de la naturaleza). Por esa razón, es necesario evaluar las diferentes alternativas de adaptación y mitigación, teniendo en cuenta los múltiples sectores que dependen del agua.

El IPCC (2001), en su marco evaluativo evidenció el reforzamiento antrópico del cambio climático en función del aumento de temperatura, aumento nivel mar, cambios precipitaciones y sequías e inundaciones, para lo que definió la adaptación teniendo en cuenta los impactos sobre los sistemas naturales y humanos tales como, recursos hídricos y alimentarios, ecosistemas y biodiversidad, asentamientos humanos y salud humana.

Las principales manifestaciones del cambio climático en Cuba, según (Planos 2014) incluyen:

-La variabilidad del régimen hídrico, que se manifiesta tanto en la incidencia de sequías -cada vez más frecuentes e intensas- como en la ocurrencia de fuertes lluvias. Un reciente estudio de la FAO documentó la tendencia del verano (período lluvioso) a ser más seco y del invierno (período poco lluvioso) a ser más húmedo, alterando el calendario agrícola, afectando a las cosechas y exigiendo una adaptación activa.

-El aumento de temperatura mínima del aire, que se traduce en una reducción de la variación diaria de la temperatura, lo que a su vez reduce la disponibilidad de agua, aumenta la incidencia de plagas y enfermedades y lleva a una disminución en las cosechas agrícolas.

-El aumento del nivel del mar, responsable de la salinización de las aguas subterráneas y el suelo agrícola, así como de las inundaciones en algunas zonas costeras

En Cuba existen varias instituciones que se encargan de determinar las necesidades hídricas de los cultivos para definir eficaces programas de riego, entre los que se destacan el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) dentro del Ministerio de la Agricultura (MINAG), además de otras que trabajan cultivos específicos como caña de azúcar, arroz etc.

El proyecto presentado pretende intensificar la visión en cuanto a la predicción la variabilidad en las normas netas de riego de los cultivos, según las variaciones predictivas 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 de la incidencia de las precipitaciones. Se tendrán en cuenta para las corridas de los programas que ajustarán las normas de riego, al escenario climático A2 desde la actualidad hasta el 2030, 2050 y 2099, añadiendo la información de los suelos y los cultivos agrícolas.

Se parte de la existencia de un problema a partir de los sesgos entre las normas netas vigentes en la actualidad y las que se necesitarían en lo adelante, posiblemente hasta los próximos 50 años o más, según la posible variabilidad del clima en Cuba, detectada desde la segunda mitad del siglo XX y que se acentúa sucesivamente. Tal situación, indica la necesidad de la predicción de las normas que deben ser ajustadas en los períodos más breves a partir de las tendencias climáticas actuales para la mayor confiabilidad de solicitud y uso del agua para los cultivos agrícolas, aún en el entorno de incertidumbre y riesgos del agua en el país. Para ello, es conveniente disponer de herramientas de fácil utilización y de adaptación preventiva para realizar una mejor gestión en el entorno hidrológico a largo y mediano plazo entre 2016 y 2099 a través de los programas de cómputos aceptados internacionalmente (FAO, WMO y el ICID).

Esta investigación tiene como principal objetivo general:

- Ajustar las normas netas de riego de los cultivos en diferentes contextos de producción y zonas edafoclimáticas del país, teniendo en cuenta la estimación de la variabilidad climática de los próximos años.y

Como **objetivos específicos**:

- Estimar y precisar los requerimientos de riego de los principales cultivos de interés agrícola, a través de la utilización de herramientas computacionales, que faciliten la adaptación del pronóstico de riego en función de la variabilidad climática para diferentes escenarios agrícolas y períodos de tiempo.
- Estimar las normas reducidas de riego de los principales cultivos de interés agrícola a partir de los coeficientes de estrés hídricos y en función de la predicción de la disponibilidad del agua en los escenarios agrícolas y períodos de tiempo evaluados.

•**Materiales y métodos**

Localización y selección de las zonas de estudio:

Para la zona de estudio occidental se tuvo en cuenta el área experimental de Alquizar, provincia Artemisa donde se hicieron la mayoría de las investigaciones de campo, tomando como referencia la estación agrometeorológica de Güira de Melena. Las coordenadas geográficas son: latitud de 22.47° y longitud de 82.31°, aunque fueron tomadas del escenario Echam A2 las coordenadas 82 W y 22.5 N como la más cercana, posee una altura sobre el nivel medio del mar de seis metros. Los datos de clima, suelo y cultivo están en los anexos 1, 2 y 3. En general se puede decir que son suelos de buena estructura y muy productivos. Fue considerada representativa de la región occidental.

En la zona central se realizó tomó como referencia las investigaciones realizadas en la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”, ubicada en el km 4½ de la carretera a Sagua la Grande, municipio Santa Clara, provincia Villa Clara. Las coordenadas geográficas son: latitud de 22.43° y longitud de 78.98° tomadas del escenario Echam A2 las coordenadas 22 N y 78.5 W como la más cercana, se encuentra a una altura sobre el nivel medio del mar de 116.4 m. Los datos de clima, suelo y cultivo están en los anexos 1,2 y 3. Fue considerada representativa de la región central

El área de estudio de la zona oriental fue la estación Veguita coincidiendo con la estación agrometeorológica situada en el municipio de Veguitas, provincia Granma. Las coordenadas de la zona son 20.10 de latitud norte y 76.74 de longitud oeste, tomadas del escenario Echam A2 las coordenadas 20 N y 76.5 W como más cercana, y se encuentra a una altura del nivel medio del mar de 30 m. La temperatura oscila entre 22 y 33°C. Veguitas presenta un suelo aluvial. Los datos de clima, suelo y cultivo están en los anexos 1,2 y 3. Fue considerada representativa de la región oriental.

Metodología de trabajo

En primera instancia se realizó una exhaustiva recopilación de la información de clima, cultivos y suelos, seleccionados para la investigación y con ellos conformar una base de datos del proyecto.

Se definieron los escenarios productivos a evaluar en diferentes regiones geográficas, climáticas y de sistemas productivos representativos de los grupos hortalizas, viandas, granos, caña, pastos y forrajes

Se utilizó el modelo regional PRECIS programa PRECIS recomendado por (Planos 2014) por presentar una resolución de 50 y 25 km², lo que ha permitido representar el clima del futuro en países tan pequeños como los caribeños.

Dentro de este modelo se utilizó el escenario climático A2 de la Echam seleccionado porque considera una economía regional, con un desarrollo económico-tecnológico lento, visto como una representación plausible del clima futuro y es utilizado para estimar el posible impacto del cambio climático sobre la sociedad y el medio ambiente. Este escenario al igual que el B2, considera que el desarrollo se dará más a nivel regional y parten de un conjunto de suposiciones acerca de la evolución de los forzantes (población, tecnología, economía, uso del suelo, agricultura y energía).



Figura 1. Expresión de los escenarios climáticos (Nakicenovic, et al 2004)

Se utilizó el programa de modelación de los sistemas agrícolas y la estimación de las normas de riego a corto, mediano y largo plazo en función de los pronósticos de variabilidad climática en el país (CROPWAT versión 8.0 del 2007).

Se determinarán la evapotranspiración de referencia y de cultivo, así como los coeficientes de cultivos y de estrés hídrico por la metodología de la FAO, Allen et al, (2006) para diferentes condiciones climáticas y localidades. Los datos utilizados partieron de los recomendados en el escenario A2 para cada periodo. Fue preciso determinar la insolación como datos faltantes para posteriormente calcular la radiación neta y completar la informa que calcula la evapotranspiración de referencia (ET_o).

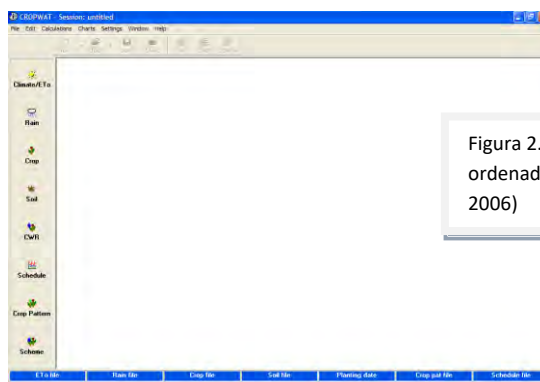


Figura 2. Plantilla del programa de ordenador CROPWAT (Allen et al, 2006)

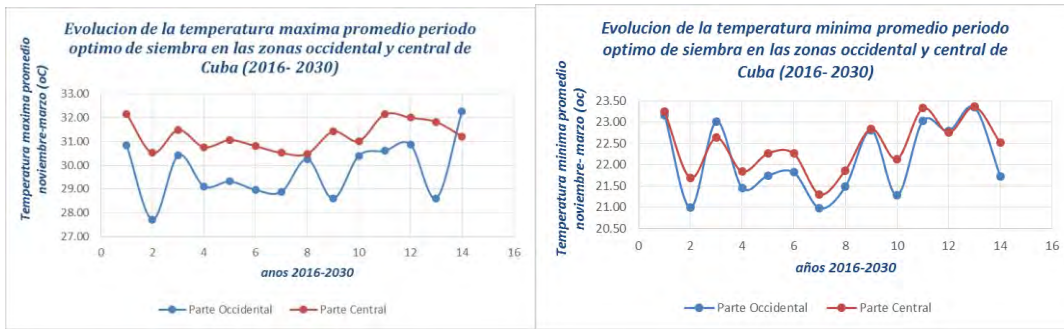
• **Resultados alcanzados:**

Análisis y discusión (puede utilizarse gráficos, tablas, y otros elementos que se considere necesario)

Base de datos sobre clima

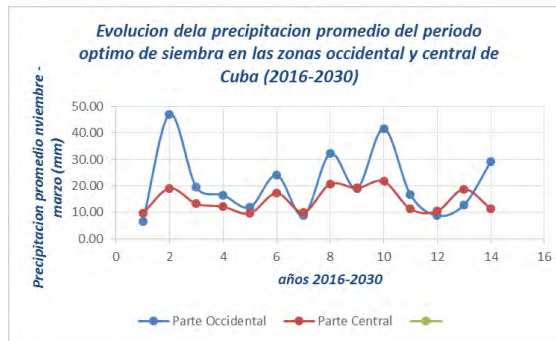
Se tomaron los datos climáticos del modelo regional PRECIS en el escenario climático Echam A2 tales como temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y se recopilaron en una base de datos hasta el 2099. A partir del Programa Cropwat se calculó la insolación y la radiación neta que aparece en el anexo 1.

Por otra parte, se seleccionaron y estudiaron su evolución en dos zonas del país (occidental y central), las variables que más influyen en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y que son las que con el cierto grado de incertidumbre aparecen en el modelo regional PRECIS visto para Cuba hasta el 2030, en el escenario A2. Esta información incidiría en la ocurrencia diferenciada de la evapotranspiración de cultivo (ET_c), así como en el cálculo de la norma neta para el riego de los cultivos (fig 1).



(A) temperatura máxima

(B) temperatura mínima



(C) precipitación

Figura 3. Evolución de la temperatura máxima (a), mínima (b) y precipitación (c) partir del escenario climático A2 hasta el 2030 en las zonas occidental y central de Cuba.

En la figura 3, se aprecia que las temperaturas máximas y mínimas tiende a aumentar más en la zona central, siendo esta variable unas de las que definen el cálculo de la ETC y que mayor variabilidad tienen en el futuro. Sin embargo la figura de la precipitación arroja que los volúmenes serán menores en esta zona central por lo que se sugiere hacer un adecuado uso del agua con mayor eficiencia.

Base de datos sobre los suelos seleccionados

Se recopilaron los datos más importantes de los suelos más vinculados a este estudio y que influyen en las propiedades hidrodinámicas del suelo (Cid et al, 2012). En algunos casos están referidas a los cultivos más representativos, como en el caso de la caña, el arroz, la piña. Las mismas se encuentran en el anexo 2.

Base de datos sobre los cultivos seleccionados

Se compendió la información de los cultivos agrícolas de mayor interés económico y productivo sobre variedades, coeficientes de cultivos (Kc) determinados de forma experimental y actualizada a través del enfoque de PenmanMonteith, FAO (2007) en el cálculo de la evapotranspiración de referencia. Otros datos que se tuvieron en cuenta fueron las fases de desarrollo, la profundidad de las raíces y el agotamiento crítico del suelo para cual se calcularon los coeficientes de cultivo (Kc). Fueron determinados además durante el periodo del proyecto por primera vez los kc de los cultivos café, bananos y plátanos y pastos y forrajes, los cuales se incluyen en las tablas que aparecen en anexo 3

En cuanto al cultivo de arroz se siguió en la recopilación de la información sobre el consumo de agua, para realizar los cálculos de evapotranspiración y coeficientes de cultivo por etapas de crecimiento y además se dispone de los datos de las tablas 1, 2 y 3 en la cual se muestran los indicadores productivos del agua, requerimientos hídricos y demanda de agua para la producción agrícola

Tabla 1. Productividad del agua para el arroz de frío de primavera, según Minag 2011

Indicadores productivos del agua m ³ t ⁻¹						
Indicador	Objetivo final	2012	2013	2014	2015	2016
Arroz frío	4482	8750	7166	6125	5211	4873
Arroz primavera	4519	8174	6874	5845	5126	4732
Total	9001	16924	14040	11970	10337	9605

Tabla 2. Requerimientos de agua para el cultivo del arroz (González et al, 2015)

Necesidades de agua del arroz de riego			
Propósito del uso del agua	Uso consuntivo(mm/día)		Comentarios
	Bajo	Alto	
Preparación del terreno	150	250	Renovación de la humedad del suelo, arado y fanguero.
Evapotranspiración	500	1 200	
Infiltración y percolación	200	700	Mantenimiento de la lámina de inundación.
Drenaje de mediados de estación	50	100	Recambio de la cuenca hídrica después del drenaje.
Total	900	2 250	

Tabla 3. Demanda de agua para la producción del cultivo de arroz (Herrera 2014)

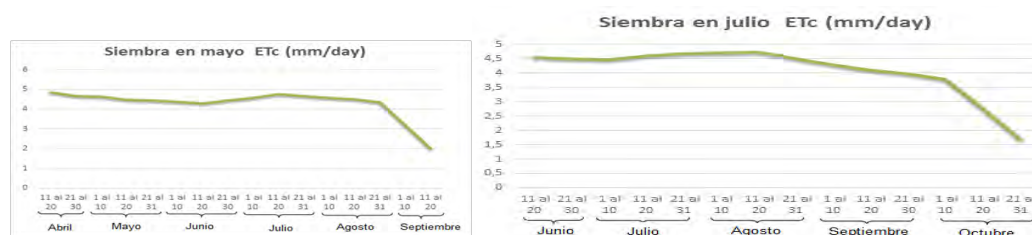
Actividad socioeconómica	Agua Demandada (hm ³)		
	1999	2009	2010
Producción de arroz	2 062,50		1 127,83

Se obtuvo ETC por simulación con el programa CROPWAT (tabla 4) utilizando coeficientes del propio programa y datos climáticos reales del municipio Los Palacios en Pinar del Río entre los años 1980 y 2000. Esta fluctuó entre 796,1 mm para siembras en mayo con ciclos de 140 días y 57,9 mm para siembras en julio y ciclos de 110 días. (López, 2014)

Tabla 4. Valores medios de la ETC para cada siembra de arroz

Siembra	ETc (mm)	Ciclo (días)	ETc (mm días ⁻¹)
Diciembre	622,6	150	4,15
Mayo	796,1	140	5,69
Julio	574,9	110	5,23

Se apreció **que el** consumo máximo diario en la siembra de mayo ETC máx.= 4,76 mm día⁻¹, ocurre en la segunda década del mes de julio en medio de la estación, con un coeficiente de cultivo Kc=1,05, a los 80 días de iniciada la siembra. El consumo mínimo diario ETc min es igual 2,01mm día⁻¹ ocurre en la segunda tercera del mes de agosto en la etapa final, con un coeficiente de cultivo Kc = 0,49 a los 130 días de iniciada la siembra



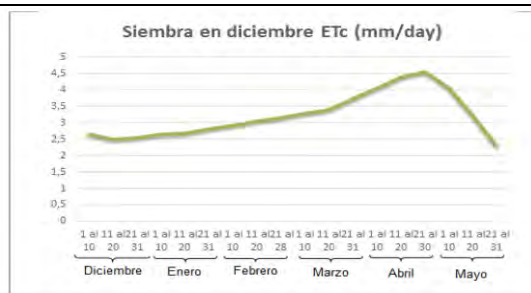


Figura 4. Consumo diario del arroz para las fechas de siembra en mayo, julio y diciembre

En tal sentido, luego de las actualizaciones de manejo del agua en el cultivo de arroz, quedaría pendiente la predicción de las normas a futuro

En el caso de la caña de azúcar se tomaron como referencia inicial las normas calculadas por el INICA (tabla 5, figura 5) y que están vigentes, para ser comparadas con las que deben ajustarse a los próximos años y que no están concluidas en este proyecto

Tabla 5. Normas totales netas (m³ha-) de riegos para la caña de azúcar (medias por suelos predominantes) en las empresas de referencia (INICA, 2013)

	30 de Nov	H. Molina	A. Lincoln	Jesús Rabí	Perucho Figueredo	C. Baliño	1 de Enero	Brasil	A. Rodríguez	J. A. Mella	A. Martínez	U. Noris
Ferralitizado Cuarcítico	277					277		277		277		
Ferralitizado Calcico		307	307	307			307	307	307			
Ferritizado								299				
Fersialitizado Calcico		334					334		334			
Sialitizado Calcico							321	321	321		321	
Vertisuelo					371			371		371		371
Gleyzado Ferralitizado	376	376										
Gleyzado Sialitizado					440			440	440			440
Aluviales	334											

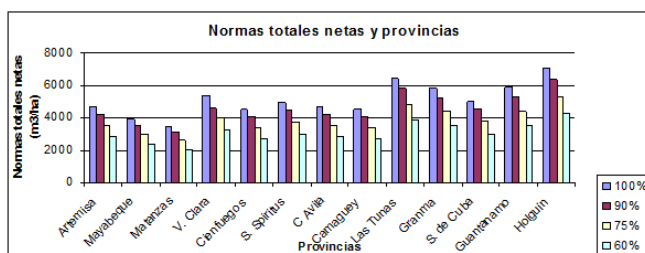


Figura 5. Normas netas totales distribuidas por provincias en el país a diferentes tenores de la ETC de la caña de azúcar

Pastos de campo de golf (se incluyen como cultivo adicional a los seleccionados en el proyecto). Información básica para el cálculo de la demanda de agua

Se adicionó el estudio de los pastos a partir del estudio del césped de los campos de golf y fundamentado en que en Cuba, la industria del Golf esta en desarrollo y solo existe hasta el momento un campo que cubre los requerimientos internacionales de este deporte; por ello ante la perspectiva de incrementar el número de los mismos en un futuro, y dado las demandas de agua de estos campos, generalmente en competencia con el agua de uso doméstico; se requiere de una metodología para el cálculo de las demandas de agua para el riego de los mismos, lo cual es el propósito general de estos resultados. Los mismos se reflejan en la tablas 6 y 7 para el sacasebo y la bermuda cruzada donde se expresa la evapotranspiración de cultivo mensual tanto en lisímetros como en parcelas de campo. Tal información podrá utilizarse para el cálculo de la norma a tiempo real y la ajustada hacia las variaciones de los próximos años.

Tabla 6. Evapotranspiración en dos especies de césped en Cuba cultivadas en lisímetros y parcelas

Mes	Lisímetros			Campo Bermuda Cruzada # 1 (Cynodonsp.) Herrera et al (1982)
	Sacasebo (Paspalumnotatum) 19xx	Bernal	Bermuda Cruzada # 1 (Cynodonsp.) Rey y Jiménez (1982)	
Enero	2,8		3,39	1,9
Febrero	3,6		4,07	2,5
Marzo	4,3		5,13	3,4
Abril	6		5,99	4,2
Mayo	5,8		4,83	4,8
Junio	5,4		5,31	5
Julio	5,2		6,11	5,2
Agosto	5,2		5,38	5,7
Septiembre	4,5		4,2	4,2
Octubre	4,2		3,41	3,7
Noviembre	3,9		2,88	3,0
Diciembre	4		2,9	1,8
	4,6		4,5	3,8

Tabla 7. Coeficientes de Cultivo ajustados (Según Herrera et al, 2014)

mes	Áreas del campo de golf	
	Grenn y Tees	Fairways y Rough
Enero	0,96	0,52
Febrero	0,94	0,68
Marzo	0,99	0,87
Abril	1,08	0,79
Mayo	0,94	0,80
Junio	1,01	0,81
Julio	1,07	0,90
Agosto	1,02	0,62
Septiembre	0,90	0,52
Octubre	0,83	0,57
Noviembre	0,77	0,55
Diciembre	0,81	0,40

Integración de información para la conformación de la base datos integral clima-suelo-cultivo para el ajuste de las normas netas

En los primeros ejercicios de integración de datos de clima, suelo y cultivo para el ajuste de las normas netas se realiza comparación entre la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones para el establecimiento del cultivo de la cebolla en la zona occidental, utilizando años climáticos aislados para conocer la tendencia en su comportamiento en la época optima de siembra

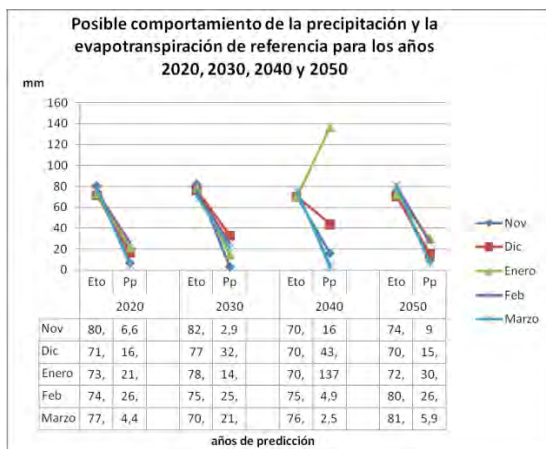


Figura 6. Comportamiento de la precipitación y la evapotranspiración de referencia en las próximas décadas (2020-2050)

En la figura 6, se aprecia que la tendencia en las precipitaciones no es aumentar sino a mantenerse en una media de aproximadamente 17 mm para el período noviembre a marzo, donde se estableció la cebolla. El

año 2040 parece que tendrá un comportamiento atípico a los tres restantes, por cuanto se predice que ocurrirán precipitaciones que alcanzarán más de 40 mm en el período (figura 7), y que por lo que se representa en la figura 1, ésta ocurrirá en el mes de enero.

En el caso de la Eto, se aprecia que en el período tiende a estar estable, aunque para el año 2030 aumentó ligeramente en relación al resto de los años evaluados.

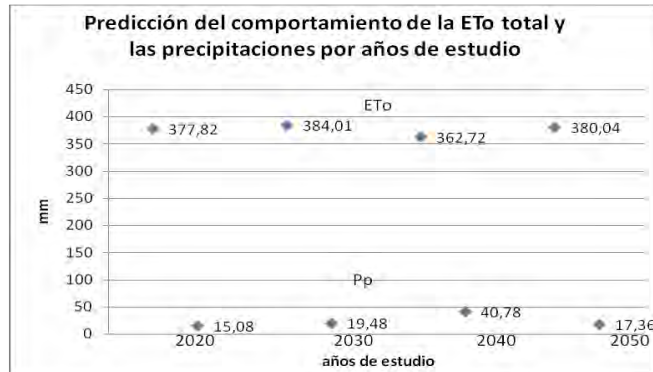


Figura 7. Predicción del comportamiento de la Eto total y precipitación para los próximos años

En la figura 7, también se aprecia el aumento del Eto en relación a la que sirvió de cálculo a la norma neta de riego actual del cultivo de cebolla de $3800 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}$ ($\text{ETo} = 365 \text{ mm}$).



Figura 8. Predicción futura de las normas netas de riego para los próximos años

La figura 8, refleja la predicción de las normas netas para el riego del cultivo de cebolla. Se destaca la norma actual determinada en condición experimental y ajustada bajo los criterios actuales de conversión con la determinación de los coeficientes del cultivo ($3800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Se tienen además las calculadas con la variación climática para la localidad. Las mismas tienen un aumento en relación, a la inicial. Esto se observa mejor en la tabla 8. Fueron evaluados diferentes modelos para valorar el comportamiento de las normas netas en el futuro climático. Tuvo mejor ajuste la ecuación polinomial.

Tabla 8. Incremento de las normas netas de riego para el cultivo de la cebolla en los próximos años

Años	Normas netas $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	Diferencia	% de incremento de las normas
2015	3800		
2020	4488	688	15.3
2030	4593	793	17.3
2040	4405	605	13.7
2050	4443	643	14.5

La tabla 8 indica el comportamiento de las normas netas de riego de los próximos 35 años climáticos. Las normas fueron determinadas a partir de los cálculos de los requerimientos hídricos del cultivo teniendo en cuenta las diferentes variables climáticas específicas para cada año de estudio. Existe un comportamiento con tendencia al aumento de la misma por encima del 13 % en relación a la norma que hasta ahora se

aplica. Esto indicará realizar en los próximos años un manejo adaptativo para asegurar la producción agrícola, sobretodo porque la tendencia de las precipitaciones no tiene índice de aumentar. Existe además una sobre estimación de las normas a partir de la no disponibilidad de todos los datos que se requieren para el cálculo de las mismas.

Posteriormente se realizó un estudio entre la evapotranspiración de referencia (ET₀) y la precipitación del periodo comprendido entre 2016 hasta 2099 en la zona de occidental y hasta el 2050 para las zonas central y oriental, teniendo en cuenta estas variables climáticas año a año.

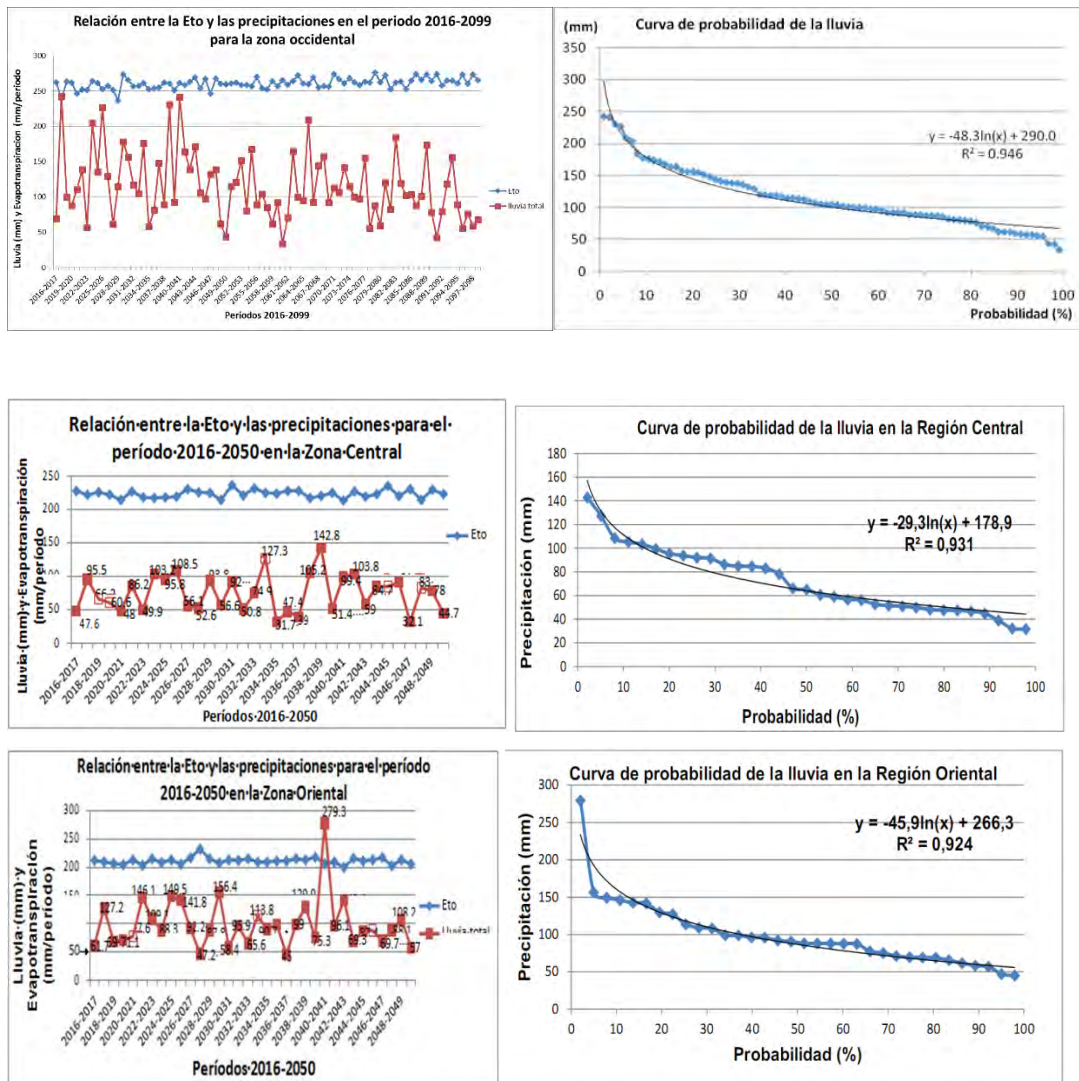


Figura 9. Relación entre la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones en las zonas occidental (a), central (b) y oriental (c) de Cuba hasta periodo 2050 y 2099 en el rango óptimo de siembra (octubre- abril) y análisis de la probabilidad de ocurrencia de la lluvia para el periodo de estudio

En el análisis entre las tres zonas, se aprecia que la central y oriental tienen menos apoyo del clima (precipitaciones), para establecer el régimen hídrico necesario, lo cual indica que será preciso que para lograr producciones aceptables, debe tenerse en cuenta lo planificado por riego en función de la disponibilidad de agua de cada lugar y de un manejo adaptativo. En el caso de la zona occidental, aunque la situación no es muy estimulante, existe la posibilidad de que las precipitaciones realicen algunos aportes a tenerse en cuenta en el balance de agua. En tal sentido en la probabilidad de ocurrencia de la lluvia en esa zona, se pueden clasificar como períodos húmedos a aquellos que superan los 143.8 mm, lo cual solo ocurre en el 25 % de los datos de la serie; que aún siendo los máximos, no satisfacen los requerimientos hídricos para ninguno de los cultivos y lo que es más importante, en el 75 % de los casos, las lluvias esperadas no superarán 81.9 mm siendo más desventajoso todavía. Lo expuesto hasta aquí, argumenta la

necesidad de establecer una predicción a futuro del riego de los cultivos con mayor interés económico y productivo en las diferentes regiones del país, para asegurar las producciones lo más sostenible posible.

En la zona central, según los datos climatológicos del Modelo Regional PRECIS en el período óptimo 2049-2050 la precipitación será de 44.7 mm, valor que representa un 3.69 % del presentado por Planos (2014) en el cálculo del balance hídrico anual para la zona Central en el año 2050 (1210 mm). En el análisis de las precipitaciones Figura 9b, se aprecia que existe una relación ajustada a una ecuación logarítmica que define el comportamiento según la probabilidad de ocurrencia, además se clasificaron los 35 años climáticos analizados en esta investigación según la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones, utilizando la metodología de Pérez (1992).

La zona oriental tuvo igual análisis a las anteriores y comparado con un estudio realizado por Planos (2014) para el cálculo del balance hídrico anual con la utilización del Modelo HADAM 3P, escenario SRES-A2, determinó que la precipitación anual en el año 2050 para la zona Oriental tendría un valor de 1300 mm, mientras que para esta investigación la precipitación en el período 2049-2050 tendrá un valor de 57 mm, el cual representa un 4.38 % del estimado por Planos

Por otra parte, el ajuste de un modelo (logarítmico) como tendencia en la probabilidad acumulada de la lluvia, permite la extrapolación puntual de estos resultados para tareas de proyecto y planificación futura.

Normas netas de riego ajustadas a la variabilidad y cambio climático para el uso del pronóstico de riego

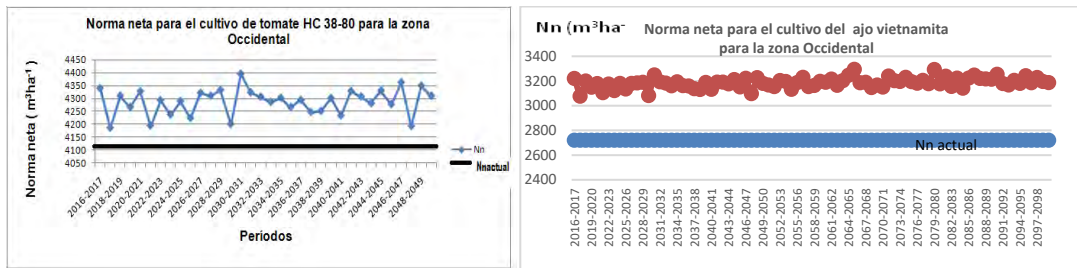


Figura 10. Normas netas ajustadas para periodos 2016-2050 en tomate HC3880 (a) y ajo vietnamita en rango 2016-2099 (b)

Se presentan las normas netas de tomate (figura 10a) estimadas en la zona occidental, por el CROPWAT se encuentran en un rango 4186 y 4395 m³ha⁻¹, las cuales al ser comparadas con la norma neta promedio actual para la zona 4118 m³ha⁻¹ según Duarte et al, (2015), la cual se asume en la actualidad y se aprecia que estas la superan entre un 2 y 7 %, lo que indicará incrementos de agua a tener en cuenta para la siembra del tomate en la zona teniendo en cuenta las consecuencias de la variabilidad y el cambio climático.

En la figura 10 b se muestran las normas netas del ajo en la zona occidental, entre los años 2016 y 2099 que oscilan entre 3076 y 3294 m³ha⁻¹, con un promedio de 3186 m³ha⁻¹, cuando se comparan estos valores de norma neta con la norma recomendada por (Duarte et al, 2015) que presenta un valor de 2720 m³ha⁻¹, es evidente que esta última no será capaz de darle al cultivo toda el agua necesaria para su desarrollo óptimo, teniendo en cuenta que las necesidades hídricas fueron aumentando a partir del aumento de las variables climáticas a consecuencia de la variabilidad y el cambio climático, por lo que las lluvias estimadas para la región son insuficientes para satisfacer la demanda, por lo tanto, el cultivo necesita riego

Para la zona occidental fue estudiado otro cultivo como el maíz T66 demostrándose la diferencia entre la norma neta actual y las que se requerirán en los próximos años, según escenario climático utilizado.

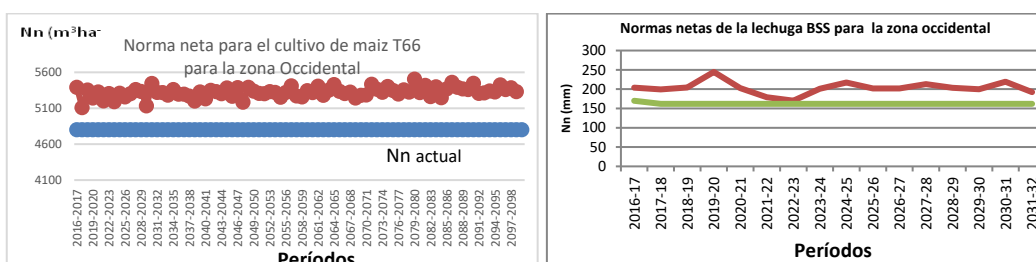


Figura 11. Normas netas ajustadas para periodos 2016-2099 en maíz T66 (a) y lechuga en rango 2016-2030 (b)

En la figura 11 a se muestran las normas netas del maíz entre los años 2016 y 2099 las cuales oscilan entre 5108 y 5504 m³ha⁻¹, con un promedio de 5324 m³ha⁻¹, cuando se comparan estos valores de norma neta con la norma recomendada por Duarte et al, (2015) representado por un valor de 4800 m³ha⁻¹ lo cual evidencia que esta última no será capaz de darle al cultivo toda el agua necesaria para su desarrollo óptimo, teniendo en cuenta que las necesidades hídricas fueron aumentando a partir del aumento de las variables climáticas en la región.

En el caso de la lechuga según la figura 11 b al comparar las normas estimadas para los próximos años hasta el 2030, con la que actualmente se utiliza para el riego a cielo abierto se aprecia la existencia de variaciones en las mismas. En particular en el período 2021 los valores se hacen casi iguales aunque las normas se sobrepasan entre 7 (2193 m³ ha⁻¹) y 9 % (2446 m³ ha⁻¹) de las que actualmente se aplican (1620 m³ ha⁻¹)

En la región central se puede observar que en el cultivo de tomate en la figura 12 a, la Nn promedio actual según Duarte et al (2015), con valor de 4180 m³ha⁻¹, la cual es más reducida que la Nn estimada para esta zona, en un rango de 4341-4552 m³ha⁻¹ (excepto en el período 2047-2048 donde alcanza un valor de 4927 m³ha⁻¹), estos valores estimados superan a la actual en un 4 y 16 % respectivamente, incrementos hídricos a tener en cuenta para establecer un adecuado riego al cultivo de tomate teniendo en cuenta la variabilidad climática durante todo el período en estudio

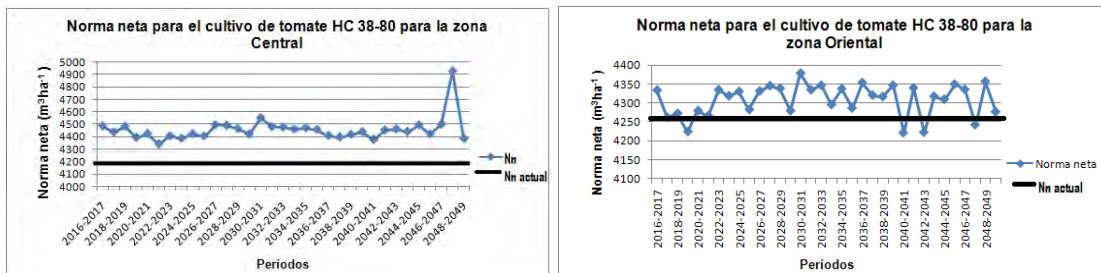


Figura 12. Normas netas ajustadas para periodos 2016-2050 en tomate HC 3880 (a zona central) y (b zona oriental)

La figura 12 b muestra que la Nn promedio actual (4260 m³ha⁻¹) según Duarte et al (2015) para el oriente cubano y mayor que la Nn estimada con el Cropwat en los períodos 2019-2020 (4224 m³ha⁻¹), 2040-2041 (4221 m³ha⁻¹), 2042-2043 (4222 m³ha⁻¹) y 2047-2048 (4242 m³ ha⁻¹), mientras que para los restantes períodos donde las normas estimadas se encuentran entre 4261-4378 m³ha⁻¹, superan a la norma actual en un 0.1 % y un 3%, por lo que será necesario implementar alguna estrategia de riego que se ajuste a ellas.

Normas netas de riego reducidas, de los cultivos agrícolas en función del coeficiente de estrés hídrico para el pronóstico de riego

En este acápite se comenzó con la determinación de coeficientes de estrés hídrico del cultivo de la cebolla y conocer su influencia en las normas de riego escala más reducida en su manejo, teniendo en cuenta las etapas de desarrollo más críticas en la que no debe faltarle agua.

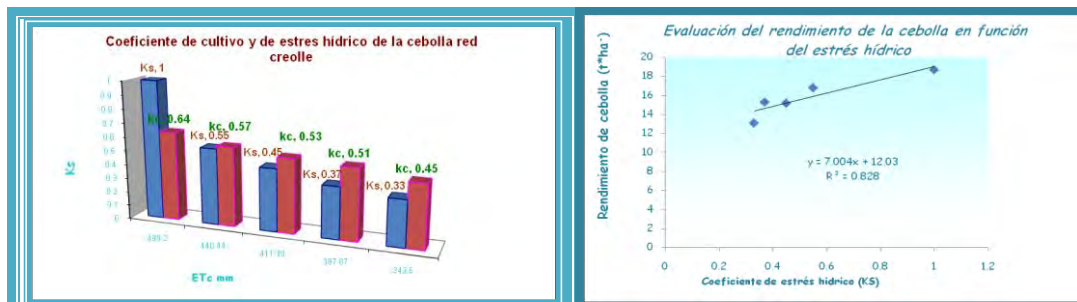


Figura 13 Coeficiente de estrés hídrico en la cebolla (a) y evaluación con el rendimiento

La figura 13 representa la evolución de los valores calculados de la evapotranspiración de cultivo representando cinco niveles de reducción de la misma (hasta 70%).

Aquí se aprecia que la evapotranspiración máxima del cultivo de la cebolla coincide con el valor 1 del Ks, lo que se interpreta como ausencia de estrés hídrico, tal como plantean Allen et al, (2006) y que se alcanza el máximo global del coeficiente de cultivo (Kc). También puede observarse la reducción gradual de los indicadores Kc y Ks de acuerdo al decrecimiento de la evapotranspiración ajustada a las variantes de reducción

Los rendimientos se presentan con valores en peso fresco, a lograr según las variaciones en la ETc del cultivo. Se realizó un análisis de comparación entre las medias por el programa Stacgrafic plus 4, que refleja diferencias significativas entre las medias con una desviación típica de ± 58.56 para la evapotranspiración de cultivo y ± 2.08 en el rendimiento.

La figura 13 además, permite observar que la producción máxima, obtenida experimentalmente (18.7 t*ha-) es superior al valor de la media nacional obtenidos por Muñoz y Prats, (2004) que es de 12.3 t*ha-, alcanzados en la antigua provincia La Habana, en condiciones edafoclimáticas semejantes a las experimentales de este trabajo. Los resultados alcanzados, estiman una reducción del orden de 88.23, 82.41, 77.7 y 68.63 % respectivamente, según los tratamientos, tomando como referencia, los rendimientos logrados con el riego a la ETc al 100 %. Los resultados de la producción, podrían definirse en función del manejo integral del cultivo y conociendo la conveniencia de lograr producciones, disminuidas, pero con estimados preliminares de la misma. Los resultados servirían además para pronosticar y/ o ayudar a decidir a los regantes de acuerdo a las zonas agroclimáticas, disponibilidades de agua y estrategias de selección de cultivo, con criterio económico. Independientemente que, según Ramos, (1999), éste cultivo requiere de clima seco, mucha insolación y es relativamente resistente a la sequía, no deberá faltar agua en las fases de germinación y desarrollo de raíces y bulbos.

Se realizaron las comparaciones entre los coeficientes de estrés hídrico determinados, con los rendimientos de la cebolla para lo que se probaron varios modelos, resultando el de mejor ajuste $y = 7.004x + 12.03$ con $R^2 = 0.828$, el cual se muestra en la figura 3. Esta figura revela que existe una disminución gradual en los rendimientos en peso fresco del cultivo de la cebolla, determinada, por la limitación de agua para el consumo por la planta y permite estimar el gradiente de déficits en los rendimientos. Por otra parte, los resultados de los rendimientos alcanzados aún para baja disponibilidad de agua resultaron superiores a los rendimientos mínimos (12 t*ha-) alcanzable para las condiciones tropicales de Cuba en la antigua provincia La Habana, según resultados experimentales de Muñoz y Prats (2004), para igual variedad Red creolle, por lo que sería válido analizar también la viabilidad de obtención de los rendimientos desde la visión económica.