

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Departamento de Ingeniería Agrícola

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Autor del trabajo: Abel Antonio Montaña Valladares.

Tutores del trabajo: Dr. C. Omar González Cueto.

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

**Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente: Atribución-
No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

RESUMEN

Este trabajo fue realizado en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú ubicada en el municipio de Santa Clara, provincia Villa Clara. El estudio de la productividad del agua y su uso dentro de la planificación del riego es una vía estratégica para lograr el incremento de la eficiencia en el uso del agua. Utilizando datos tomados en distintas UBPC de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú y con ayuda de herramientas de análisis se calcula la productividad del agua aplicada por riego (WP_i), la productividad del agua total (WP_t), las precipitaciones efectivas (Pe) y el agua total aplicada (T), en los cultivos maíz, papa, malanga, frijol y boniato. En el boniato la productividad del agua aplicada por riego (WP_i) fue superior a la del resto de los cultivos, de 20 kg/m^3 para un agua aplicada de $1400,7 \text{ m}^3/\text{ha}$, para el caso de la papa el promedio de la (WP_i) fue de $7,74 \text{ kg/m}^3$ con $4841 \text{ m}^3/\text{ha}$, en el frijol el promedio de la (WP_i) alcanzó valores de $4,74 \text{ kg/m}^3$ con $3927 \text{ m}^3/\text{ha}$, en el caso de la malanga fue de $3,92 \text{ kg/m}^3$ con $6126,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ y el maíz fue de $10,66 \text{ kg/m}^3$ con $10438 \text{ m}^3/\text{ha}$. Los resultados mostraron una baja productividad e ineficiencia en el uso del agua para los cultivos de papa, frijol y maíz, no el caso de la malanga y el boniato donde se obtuvieron valores de productividad del agua que muestran un uso eficiente del agua en estos cultivos. Determinar la eficiencia en el uso del agua de riego, a partir del cálculo de la productividad agronómica del agua y de la respuesta en rendimiento agrícola, de los cultivos analizados en la Empresa

Agropecuaria Valle del Yabú.

ABSTRACT

This work was carried out in the Agricultural Company Valle del Yabú located in the municipality of Santa Clara, province of Villa Clara. The study of water productivity and its use in irrigation planning is a strategic way to achieve an increase in the efficiency of water use. Using data collected in different farms from the Agricultural Company Valle del Yabú and with the help of analysis tools the water productivity applied by irrigation (WP_i), the total water productivity (WP_t), the effective rainfall (Pe) and the total water applied (T) were calculated, in the corn, potato, taro, bean and sweet potato crops. In the sweet potato the water productivity applied by irrigation (WP_i) was higher than that of the rest of the crops, of 20 kg/m^3 for an applied water of $1400,7 \text{ m}^3/\text{ha}$, for the case of the potato the average of the (WP_i) was 7.74 kg/m^3 with $4841 \text{ m}^3/\text{ha}$, in the bean the average of the (WP_i) reached values of 4.74 kg/m^3 with $3927 \text{ m}^3/\text{ha}$, in the case of the taro it was 3.92 kg/m^3 with $6126.7 \text{ m}^3/\text{ha}$ and corn was 10.66 kg/m^3 with $10438 \text{ m}^3/\text{ha}$. The results showed a low productivity and inefficiency in the use of water for potato, bean and corn crops, not the case of taro and sweet potato where water productivity values were obtained that show an efficient use of water in these crops. Determine the efficiency in the use of irrigation water, based on the calculation of the agronomic productivity of water and the response in agricultural yield, of the crops analyzed in the Agricultural Company Valle del Yabú.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a toda mi familia y amigos en especial a mis padres, hermanos y todos lo que de una forma u otra permanecieron a mi lado.

A mi tutor el Dr.c. Omar Gonzales Cueto por tener tanta paciencia conmigo y regalarme sus conocimientos.

A los compañeros de las diferentes UBPC donde tomé los datos y en especial a los trabajadores de la filial universitaria.

A todos los que de una forma o de otra me ayudaron a terminar este trabajo de diploma,

Muchas Gracias.

DEDICATORIA

A TODOS LOS QUE ME AYUDARON A REALIZAR ESTE
TRABAJO DE DIPLOMA Y ME APOYARON EN TODO
MOMENTO, QUE SUFRIERON Y PADECIERON JUNTO
CONMIGO Y NO SE DIERON POR VENCIDOS, A TODOS,
MUCHAS GRACIAS

Tabla de contenido	
INTRODUCCIÓN	1
Problema científico	7

Hipótesis	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Revisión Bibliográfica	9
1.1. Problemática general del uso del agua para la agricultura y su particularidad en Cuba	9
<i>Ley de aguas terrestres, aprobada en el parlamento en el 2017.</i>	12
1.2-Necesidades hídricas de las plantas	13
1.3- Factores que inciden en las pérdidas de eficiencia en los sistemas de riego.	18
MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1. Metodología para la caracterización de los sistemas de riego utilizados en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.	22
2.2. Metodología para la determinación de la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25 3.1
Resultados de la caracterización de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú y los sistemas de riego utilizados.	25
3.2. Resultados del cálculo la eficiencia del uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.	27
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXOS	41

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Una de las funciones principales de los responsables de las políticas públicas en cuanto al uso del agua es lograr un uso racional del recurso agua de riego. Ello requiere de precisar el concepto de eficiencia en el manejo de recursos, es decir, regar la mayor cantidad de superficie posible con el menor volumen de agua, de acuerdo a las condiciones climáticas y productivas de cada región. Esta preocupación, que es racional desde el punto de vista cotidiano y desde el punto de vista de la política pública, no lo es desde la perspectiva de los agricultores en muchos países del mundo; ya que los agricultores en esos países tienen incentivos para usar mayor cantidad de agua que la técnicamente recomendable (WHO/UNICEF, 2000). Sin embargo, el uso excesivo de agua de riego está determinado por la idea del agricultor, de que a mayor agua aplicada al cultivo mayor será el rendimiento agrícola de este.

El control de la humedad del suelo para el normal desarrollo de los cultivos es vital para la agricultura en el mundo. Un alto porcentaje de las áreas cultivadas se encuentran en zonas áridas o semiáridas, en las cuales la irrigación tiene gran importancia por su influencia en los rendimientos. En algunos países, entre los cuales se incluye Cuba, aunque el total de precipitaciones anuales puede considerarse aceptable, su distribución es irregular y provoca largos períodos secos y un bajo aprovechamiento de los períodos de intensas lluvias.

En el mundo se cultivan aproximadamente 1 600 millones de ha y cerca del 60% se encuentra en zonas que se ven seriamente afectadas por la sequía, donde el

riego puede aumentar de 2 a 3 veces la producción. Sin embargo, los estudios realizados estiman que menos del 20% de las áreas cultivadas son de regadío y en ellas se utilizan aproximadamente $1,5 \times 10^{12}$ m³ de agua al año. La mayoría de los sistemas de riego del mundo están funcionando por debajo de su capacidad y no se ajustan a las necesidades de la agricultura actual. El bajo nivel de productividad del agua asociado a la gestión de estos sistemas conlleva menores oportunidades de usar eficazmente los recursos y obtener rendimientos económicos. En la actualidad, muchas regiones con escasez de agua tienen dificultades para aumentar el suministro para regadío. FAO (2013) menciona que, de todos los sectores de la economía, la agricultura es el más sensible a la escasez de agua. La adecuada gestión del riego es la que determina cuándo y cuánto regar, sobre la base de las necesidades de agua de los cultivos, las características del suelo y las condiciones climáticas del entorno para optimizar la calidad y cantidad de la producción (Vázquez *et al.*, 2017).

En Cuba las precipitaciones durante el período seco del año no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado de la mayor parte de los cultivos, por lo cual el riego es necesario. Este período coincide con los ciclos completos de muchos cultivos como son la papa, el tabaco y las hortalizas y con el inicio y finalización de otros. Por otra parte, durante el período lluvioso del año se presentan problemas de drenaje, motivados por las intensas lluvias, que dificultan el normal desarrollo de los cultivos.

En la agricultura de regadío la calidad del agua es un importante factor a considerar para la obtención de altos rendimientos agrícolas, además adquiere

cada día más actualidad e importancia debido a la limitación de los recursos hídricos, al aumento de la contaminación de embalses y ríos y a la excesiva explotación de las aguas subterráneas. En las regiones áridas y semiáridas del planeta, donde el clima es desfavorable para el desarrollo de las especies vegetales, el agua no se encuentra fácilmente. Cuando esta aflora a la superficie suele presentar una baja calidad. A su vez los suelos de estas regiones acumulan sales solubles, estos problemas se localizan en 1/3 de las tierras del planeta dedicados a la agricultura. (Ortega, 1986) expone que una de las causas principales de la salinización secundaria de los suelos en Cuba es el riego poco técnico y el uso de aguas de baja calidad. Según (Ayers, 1987) la tendencia actual de evaluación de la calidad del agua para propósitos de riego es más cualitativa que cuantitativa, evitando el uso de clasificaciones rígidas y refiriéndose a cada caso en una forma elástica y particular ya que el agua es un recurso cada día más escaso que debe ser manejado cuidadosamente

dependiendo de las condiciones ambientales, el tipo de suelo y de cultivo, y de las condiciones económicas y sociales de los agricultores (Bonet, 2011).

A nivel mundial la agricultura es el mayor consumidor de agua, coincidiendo todos los reportes al respecto en señalar que consume anualmente el 70% del agua total utilizada en el planeta. Esto es debido a dos factores fundamentales; primero, la gran demanda de agua por unidad de producción que tienen los productos agrícolas, y las eficiencias globales de riego.

El mejoramiento de la eficiencia de los sistemas de riego es un tema prioritario para la mayoría de los países del mundo (Sánchez, 2004). En el recién finalizado

60 Encuentro del Consejo Ejecutivo de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y la 5ta Conferencia Regional Asiática este fue un aspecto analizado y se constató un aumento significativo de la eficiencia del riego (hasta en un 20%) solo con mejoras en la operación de los sistemas y el manejo del riego

(Madramootoo, 2010).

La crisis económica de los años 90 en Cuba, motivada por la caída del bloque socialista de los países del este de Europa, con el cual Cuba mantenía el 85 por ciento de su mercado exterior, en un contexto de bloqueo económico prolongado por parte del Gobierno de Estados Unidos, ha tenido serias consecuencias sobre el desarrollo hidráulico cubano. Por una parte, se detuvo el proceso inversionista en las obras hidráulicas, incluyendo los sistemas de riego y drenaje, y por otra los recursos financieros existentes no fueron suficientes para costear el mantenimiento de los sistemas ya construidos. Por las razones anteriores, de 1991 a 1996 perdieron valor de uso para regadío unas 191 873 ha, disminuyendo el área bajo riego un 18,1 por ciento (Herrera *et al.*, 2011).

Un análisis comparativo de la demanda de agua asignada para las actividades agrícolas del Ministerio de la Agricultura (MINAG) de Cuba en el periodo comprendido entre el 2007 y el 2010 refleja que en el 2007 el agua total asignada para las actividades agrícolas del MINAG constituía el 36% (2157,120 hm³) del total del país mientras que ya en el 2010 y 2011 este asciende a 44% (3 521 524 hm³) y 47% (4 169 681 hm³) respectivamente (INRH, 2011).

Por su parte el área total bajo riego en el sistema productivo del MINAG es de 416 367 ha (MINAG, 2010). Del total de áreas bajo riego en el 2010, el 75% corresponden al riego por gravedad (41% con bombeo y 34% sin bombeo), el

19% a riego por aspersión (5% aspersión portátil, 8% semi estacionaria, 5% de pivotes eléctricos, 1% de máquinas de riego Fregat, y el 0,1% a máquinas Voltzhankas), el 5% al riego localizado (4% por goteo, 1% por micro aspersión) y 2% a otras técnicas. Los mayores crecimientos en áreas con valor de uso bajo diferentes técnicas de riego están en el riego por gravedad (cerca del 80%) así como en el riego con máquinas de pivote central eléctricos (42%) y el goteo

(32%).

Desde hace mucho tiempo, el llegar a conocer los consumos de agua por parte de los cultivos, y muy especialmente los requerimientos hídricos netos y brutos de riego es una preocupación de los ingenieros, proyectistas, gestores y agricultores.

La utilización eficiente del agua en la agricultura solo puede lograrse cuando la planificación, el proyecto y la operación de suministro de este recurso estén orientados a atender en cantidad y tiempo, incluyendo los períodos de escasez de agua, las necesidades de agua de un cultivo, imprescindibles para un crecimiento óptimo y altos rendimientos.

Diversos autores han señalado la importancia que adquiere en la planificación y operación del riego y el conocimiento de las funciones agua rendimiento (González, 2010, 2013, 2014; González *et al.*, 2015; Herrera; González, 2015).

Según estos autores a partir de estas curvas pueden elaborarse reglas, con 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. Si bien desde la década del 60 del pasado siglo se han realizado trabajos en Cuba para la definición de las necesidades de agua de los cultivos, en muy pocos de ellos se ha definido explícitamente la respuesta al agua de éstos y se han publicado pocas expresiones de la función agua rendimiento para las condiciones de suelos y clima del país. En Cuba existe información experimental de más de 30 años sobre estudios de manejo del riego y su efecto sobre el rendimiento de los cultivos agrícolas, fundamentalmente de la región del sur de La Habana, la cual representa del área agrícola bajo riego de Cuba, la zona que posee la más importante infraestructura de regadío del país, con un área bajo riego de aproximadamente 43 920 ha (MINAG, 2010). En esta región, donde predominan los suelos del agrupamiento Ferralítico (más del 70%), se cultiva gran parte de la producción de granos, viandas y hortalizas del país, por tanto, el manejo eficiente del agua en ella para obtener rendimientos agrícolas óptimos constituye una cuestión de vital importancia en la economía nacional (López, 2009).

La Empresa Agropecuaria Valle de Yabú tiene una gran importancia para la provincia de Villa Clara y la región central por ser la mayor empresa de Villa Clara que se incorpora al abastecimiento de la población. El ministro de la Agricultura Gustavo Rodríguez Rollero afirmó que el estado ha invertido en un proyecto que está dirigido al fomento de la agricultura y pretende rescatar el desarrollo de esta empresa, la cual cuenta con las condiciones de extender sus áreas cultivables y bajo riego. La inversión posibilitará al Yabú incrementar los terrenos en explotación bajo riego de 640 hectáreas en la actualidad, a más de 1 400 ha. Se trata de dotarla de una mejor organización e infraestructura productiva,

aprovechando las tierras y los recursos hídricos con que cuenta la entidad, tarea que ha impuesto recuperar en el menor plazo posible los sistemas de drenaje, estaciones de bombeo y la red de canales. Con ese objetivo, por decisión del Gobierno, se aprobó la entrega a la empresa de una moderna tecnología que incluye máquinas de riego, motores, bombas, tractores, equipos de fumigación, cosechadoras de granos, tráilers, sembradoras integrales y otros implementos (Machado, 2015).

La eficiencia en el uso del agua para el riego es fundamental cuando la empresa se enfrenta al cambio climático y al incremento de los sistemas de riego y por lo tanto a la demanda de agua a los reservorios existentes. Las presas de las cuales se sirve deberán contener menos agua en el futuro debido a la disminución de las precipitaciones y al incremento de la temperatura ambiente, por lo tanto, habrá menos disponible para el crecimiento de las plantas. En la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú no se utiliza el cálculo de la productividad agronómica del agua para conocer los niveles de eficiencia en el uso del agua aplicada a los diferentes cultivos bajo riego. La obtención de estos indicadores son factores importantes para tomar decisiones en cuanto al empleo que se hace del agua destinada para el riego y lograr un uso más eficiente de esta. A partir de estos elementos se fundamenta esta investigación que tiene como:

Problema científico

Cuál es la eficiencia del uso del agua en el riego de los diferentes cultivos de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Hipótesis

Si se calcula la productividad agronómica del agua y la respuesta en rendimiento agrícola de los principales cultivos al riego, se podrá conocer la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Objetivo general

Determinar la eficiencia en el uso del agua de riego, a partir del cálculo de la productividad agronómica del agua y de la respuesta en rendimiento agrícola, de los cultivos analizados en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Objetivos específicos

1- Caracterizar la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú y los sistemas de riego utilizados.

2- Determinar la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

CAPITULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Revisión Bibliográfica

1.1. Problemática general del uso del agua para la agricultura y su particularidad en Cuba

A nivel mundial la agricultura es el mayor consumidor de agua, coincidiendo todos los reportes al respecto en señalar que consume anualmente el 70% del agua

total utilizada en el planeta. Esto es debido a dos factores fundamentales; primero, la gran demanda de agua por unidad de producción que tienen los productos agrícolas, y las eficiencias globales de riego (Herrera *et al.*, 2011).

El mejoramiento de la eficiencia de los sistemas de riego es un tema prioritario para la mayoría de los países del mundo (Sánchez, 2004). En el recién finalizado 60 Encuentro del Consejo Ejecutivo de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y la 5ta Conferencia Regional Asiática este fue un aspecto analizado y se constató un aumento significativo de la eficiencia del riego (hasta en un 20%) solo con mejoras en la operación de los sistemas y el manejo del riego (Herrera *et al.*, 2011).

Muchas regiones del mundo han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que las ha llevado a sobreexplotar los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos, creando un impacto negativo en el ambiente. En los países en los que se depende del agua subterránea para el riego, el exceso de extracción está provocando que los niveles freáticos de agua dulce estén descendiendo a un ritmo muy alarmante. Aunado a lo anterior, el 77% del agua concesionada en el mundo es utilizada en la agricultura; por tal razón, es urgente incrementar la eficiencia en el uso del agua en este sector (González *et al.*, 2010).

Para casi todas las regiones del mundo, aumentar la productividad del agua usada en la agricultura, en vez de adjudicar más agua, constituye el mayor potencial para mejorar la seguridad alimenticia y reducir la pobreza al costo ambiental más bajo (Rijsberman, 2006).

El alto grado con el que el agua condiciona la producción agrícola, así como su capacidad para alimentar a sus poblaciones, lleva a la necesidad de estudiar el problema de la productividad del agua. Debido a que la agricultura por irrigación consume en la actualidad la mayor parte del suministro de agua de buena calidad (en una cantidad estimada entre el 60y el 80 por ciento), la búsqueda de nuevas formas de producir más alimentos con menos cantidad de agua ofrece una respuesta al problema de la escasez del agua (IWMI, 2009).

Un análisis comparativo de la demanda de agua asignada para las actividades agrícolas del Ministerio de la Agricultura (MINAG) de Cuba en el periodo comprendido entre el 2007 y el 2010 refleja que en el 2007 el agua total asignada para las actividades agrícolas del MINAG constituía el 36% (2157,120 hm³) del total del país mientras que ya en el 2010 y 2011 este porcentaje asciende a 44% (3521,524 hm³) y 47% (4169,681 hm³) respectivamente (Herrera *et al.*, 2011).

Por su parte el área total bajo riego en el sistema productivo del MINAG es de 416 367 (Cuba, Ministerio de la Agricultura, 2010). Del total de áreas bajo riego en el 2010, el 75% corresponden al riego por gravedad (41% con bombeo y 34 sin bombeo), el 19% a riego por aspersión (5% aspersión portátil, 8% semi estacionaria, 5% de pivotes eléctricos, 1% de máquinas de riego Fregat, y el 0,1% a máquinas Voltzhankas), el 5% al riego localizado (4% por goteo, 1% por micro aspersión) y 2% a otras técnicas. Los mayores crecimientos en áreas con valor de uso bajo diferentes técnicas de riego están en el riego por gravedad (cerca del 80%) así como en el riego con máquinas de pivote central eléctricos

(42%) y el goteo (32%) (Herrera *et al.*, 2011).

A pesar de los esfuerzos realizados, la programación del riego en Cuba continúa siendo empírica. En los sistemas de riego situados en la costa norte de la provincia de Villa Clara, en el quinquenio 2005/2009 se consumieron como promedio 48,1 millones de metros cúbicos de agua y se beneficiaron como promedio 26 203,4 ha, esto hace que se regara con una eficiencia del 24%. Sin embargo, en experimentos realizados en suelos arcillosos pesados dedicados al cultivo de la caña de azúcar en el norte de la provincia, reportaron un consumo total de agua de 1 410 mm en caña planta de 13 meses, y obtuvieron un rendimiento agrícola de 116,64 t/ha; la norma de riego total aplicada fue de 5966 m³/ha (Pacheco, 2010).

1.1.1-La Política Nacional del Agua de Cuba

La Política Nacional del Agua de Cuba, elaborada como respuesta al proceso de implementación de los lineamientos y especialmente los referidos a los Recursos Hidráulicos (300 al 303), establece cuatro prioridades estratégicas (Matos;M., 2013)

1. El uso racional y productivo del agua disponible.
2. El uso eficiente de la estructura construida.
3. La gestión de riesgos asociados a la calidad del agua.
4. La gestión de riesgos asociados a eventos del clima.

Con relación a la primera prioridad estratégica, se establece esta política que el balance de agua constituye una Categoría del Plan de la Economía y que por tanto el agua se deberá planificar según índices de consumo por unidad de producción no servicio.

Con relación a la producción agrícola, la que más agua utiliza, y para cumplimentar lo anterior, se requiere de un conocimiento actualizado de las normas de consumo de los cultivos, así como de la productividad obtenida de esta agua utilizada o consumida (Herrera; González, 2015).

Ley de aguas terrestres, aprobada en el parlamento en el 2017.

El agua, como recurso natural, renovable y finito, patrimonio del Estado, que constituye un derecho de todos los ciudadanos, requiere de especiales normas que regulen su planificación y manejo; porque, además, constituye un elemento esencial para el desarrollo socioeconómico y en definitiva de la vida misma», así se expresaban en julio pasado las comisiones parlamentarias encargadas de dictaminar sobre el proyecto de Ley de las aguas terrestres (Gaceta Oficial, 2017), la cual fue aprobada en esa sesión ordinaria de la Asamblea Nacional.

Aguas terrestres son las que «se encuentran dentro de la corteza terrestre o encima de ella, independientemente de su composición física, química o bacteriológica, en el espacio que conforma la parte emergida del territorio nacional limitado por la línea de costa», se explica en el glosario de términos que acompaña la Ley, un valioso acápite que permite a la población entender mejor la parte técnica de la misma. Tras un proceso de discusión iniciado en 2013, que llevó a la modificación de muchos de sus elementos, la norma consta de 13 títulos, 15 secciones, 29 capítulos y 127 artículos. Entre los objetivos de la legislación está ordenar la gestión integrada y sostenible de estas aguas como recurso natural renovable y limitado, en función del interés general de la sociedad, la economía, la salud y el medio ambiente. También, establecer las medidas para su protección sobre la base de su planificación, preservación y sostenibilidad, en

armonía con el desarrollo económico-social y la protección medioambiental, y ante el impacto negativo de los eventos extremos y el cambio climático. La participación consciente de la ciudadanía en su cuidado y ahorro es una estrategia de largo aliento, imprescindible para preservar un recurso cada vez más vulnerable y escaso, como pudimos comprobar todos los cubanos, nuevamente, durante la sequía de tres años que padecimos hasta hace pocos días. La Ley de las aguas terrestres fue precedida, entre otros antecedentes, por la Política Nacional del Agua, aprobada por el Consejo de Ministros en diciembre de 2012, en cumplimiento de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución del 6to. Congreso, los cuales fueron actualizados en el 7mo. Congreso (González, 2010).

1.2-Necesidades hídricas de las plantas

Desde hace mucho tiempo, el llegar a conocer los consumos de agua por parte de los cultivos, y muy especialmente los requerimientos netos y brutos de riego, es una preocupación de los ingenieros, proyectistas, gestores y agricultores. A lo largo de todo el siglo XX, aunque en ocasiones las manifiestas

contradicciones, la literatura científica acerca de estos temas se ha desarrollado profunda y extensamente como lo podemos encontrar en libros, tales como: “El Riego y sus Tecnologías”, “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”, “Manual de buenas prácticas de riego”, por citar algunos.

El objetivo del riego a las plantas es satisfacer las necesidades hídricas de estas, de forma que no se produzca estrés hídrico que pueda afectar el rendimiento del cultivo. Los consumos de agua de un cultivo, o necesidades hídricas, se corresponden con su evapotranspiración (ET) en un determinado ambiente y bajo

un manejo concreto del mismo. Dicha ET es la suma de dos procesos, fundamentalmente la transpiración del agua que circula por el interior de las plantas, que sale al exterior de ellas a través de sus hojas y tallos y la evaporación de agua que ocurre a través de la superficie del suelo donde crecen las plantas, o de la superficie de las hojas cuando están húmedas. Ocurre casi

siempre de día. Al conjunto de estos dos consumos se le llama evapotranspiración (ETo) y es igual al consumo total del cultivo. Casi siempre se expresa en milímetros de agua (1mm= 1 litro por metro cuadrado de suelo o a 10 metros cúbicos de agua por ha de suelo) por día, mes o ciclo del cultivo. Así, si las necesidades de agua de un cultivo son de 10 mm por día, esto significa que el cultivo necesita una capa diaria de agua de 10 mm de altura en cada metro cuadrado, o sea, 10 litros por cada metro cuadrado de parcela (Allen *et al.*, 2006).

Las necesidades de agua de un cultivo dependen fundamentalmente de los siguientes factores: El clima sobre todo la insolación (horas de sol al día), La temperatura, (del aire), La humedad (del aire) y el viento. Un mismo cultivo tendrá diferentes necesidades en dependencia del clima donde este establecido, por ejemplo, una variedad de maíz sembrada en un clima caliente necesitará más agua que si se siembre en otro lugar, o en el mismo lugar, pero en otra época del año en que el clima sea más fresco. En realidad, la evapotranspiración de los cultivos es variable, aun cuando el clima fuese constante. En primer lugar, varía de acuerdo a la producción en que sus hojas verdes cubran la parcela, o sea varía de acuerdo al estado de crecimiento de los cultivos. En segundo lugar, depende de la humedad del suelo, ya que el cultivo tratara de reducir su evapotranspiración

cuando las raíces encuentren menos agua. En tercer lugar, las características de los cultivos no son iguales.

La ET puede medirse directamente con lisímetros, e indirectamente, con métodos micro meteorológicos, pero puede estimarse mediante diferentes modelos, más o menos empíricos a partir de registros periódicos de distintas variables climáticas. Mientras que las dos primeras posibilidades son más propias del campo de la investigación, la tercera alternativa es la más extendida en la práctica del riego (González, 2014).

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc).

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

Las fuerzas que actúan sobre el agua presente en el suelo disminuyen su energía potencial y la hacen menos disponible para su extracción por parte de las raíces de las plantas. Cuando el suelo se encuentra húmedo, el agua presente tiene una energía potencial alta, teniendo libertad de movimiento y pudiendo ser extraída fácilmente por las raíces de las plantas. En suelos secos el agua tiene una energía potencial baja, siendo retenida fuertemente por fuerzas capilares y de adsorción a la matriz del suelo, lo que la hace menos extraíble por el cultivo.

Cuando la energía potencial del agua del suelo cae por debajo de cierto valor umbral, se dice que el cultivo se encuentra estresado (Allen *et al.*, 2006).

La disponibilidad de agua en el suelo se refiere a la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas. Después de una lluvia importante o riego, el suelo comenzará a drenar agua hasta alcanzar la capacidad de campo. La capacidad de campo representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, o sea la cantidad de agua remanente en el suelo cuando el drenaje descendente ha disminuido significativamente.

En ausencia de una fuente de agua, el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo se reducirá como resultado del consumo de agua por el cultivo. A medida que aumenta el consumo de agua, el agua remanente será retenida con mayor fuerza por las partículas del suelo, lo que reducirá su energía potencial y hará más difícil su extracción por las plantas. Eventualmente, se alcanzará un punto donde el cultivo no podrá extraer el agua remanente. En este momento la extracción de agua será nula y se habrá alcanzado el punto de marchitez permanente. El punto de marchitez permanente es el contenido de humedad en el suelo en el cual las plantas se marchitan permanentemente. Debido a que contenidos de humedad por encima de capacidad de campo no pueden ser retenidos en contra de las fuerzas de gravedad y son drenados y debido a que contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez permanente no pueden ser extraídos por las raíces de las plantas, el total de agua disponible en la zona radicular será la diferencia entre los contenidos de humedad a capacidad

de campo y el punto de marchitez permanente. La siguiente ecuación muestra el cálculo *del agua disponible total* (Allen et al., 2006).

$$ADT = 1000(\theta_{FC} - \theta_{WP})Z_r \quad [1]$$

Donde:

ADT- total de agua disponible en la zona radicular del suelo [mm], *θ_{FC}*- contenido de humedad a capacidad de campo [m³ m⁻³], *θ_{WP}* - contenido de humedad en el punto de marchitez permanente [m³ m⁻³],

Z_r- profundidad de las raíces [m] (Allen et al., 2006).

A pesar de que en teoría existe agua disponible hasta alcanzar el punto de marchitez permanente, la cantidad de agua extraída por el cultivo se reducirá significativamente antes de alcanzar el punto de marchitez permanente. Cuando el suelo contiene suficiente humedad, el mismo es capaz de suministrar el agua con suficiente velocidad para satisfacer la demanda atmosférica al cultivo, por lo que la extracción del agua será igual a la *ET_c*. A medida que disminuya la cantidad de humedad en el suelo, el agua será retenida más fuertemente a la matriz del suelo y será más difícil de extraer.

Cuando el contenido de humedad del suelo este por debajo de cierto valor umbral, el agua del suelo no podrá ser transportada hacia las raíces con la velocidad suficiente para satisfacer la demanda transpiratoria y el cultivo comenzará a sufrir de estrés. La fracción de *ADT* que un cultivo puede extraer de la zona radicular

sin experimentar estrés hídrico es denominada *agua fácilmente aprovechable* en el suelo (Allen *et al.*, 2006):

$$AFA = P ADT$$

[2]

Donde:

AFA - agua fácilmente aprovechable (extraíble) de la zona radicular del suelo

[*mm*], *p* -fracción promedio del total de agua disponible en el suelo

(*ADT*) que puede ser agotada de la zona radicular antes de

presentarse estrés hídrico (reducción de la ET) [0 - 1] (Allen *et al.*,

2006).

1.3- Factores que inciden en las pérdidas de eficiencia en los sistemas de riego.

Para el caso de riego por aspersión y el riego localizado, las eficiencias utilizadas para el cálculo de la demanda, y las obtenidas en las evaluaciones de campo por el IIRD en sistemas de aspersión portátiles de media y baja presión , localizado, máquinas de pivote central, y enrolladores responden a los estándares internacionales, sin embargo las mismas se ven afectadas por problemas de operación, mantenimiento y clasificación del personal que las opera (Herrera *et al.*, 2011).

Como puede observarse, aun cuando los sistemas de riego no alcanzan la eficiencia esperada de los mismos y por tanto contribuyen también al alto

consumo de agua por la agricultura, sus problemas principales están centrados en la operación, la cual también es soluble si se contara con el personal adecuado, al menos a nivel de municipio, capaz de efectuar la labor de asistencia técnica en cada sistema (Herrera *et al.*, 2011).

Como la mayor parte de los sistemas de riego por aspersión dependen de energía adicional (diésel o eléctrica) para su operación, los problemas de ineficiencia en la utilización del agua, que significan aplicar más agua que la necesaria, se tornan inmediatamente en problemas de mayor consumo energético. De ahí que al controlar los consumos de energía en los mismos también se está controlando el uso del agua, pero el problema aquí consiste en que ninguno de los indicadores se controla a nivel de equipo y por tanto es bastante difícil determinar si se trabaja con la eficiencia adecuada o no y por tanto se gasta más agua y energía de la requerida (Herrera *et al.*, 2011).

Factores que inciden en las pérdidas de eficiencia.

Operación:

- Mayor tiempo de riego que el necesario.
- Espaciamiento innecesario de los aspersores.
- intervalos fijos de riego sin aprovechar la humedad aportada al suelo por las lluvias
- Aplicación del riego con vientos excesivos
- Presión inadecuada

Mantenimiento:

- Roturas y salideros en las tuberías conductoras.

- Tupiciones en los emisores

Personal:

- Escasez de personal para las labores de operación a nivel de sistemas de riego
- Falta de calificación en el personal directamente vinculado a la operación (Herrera *et al.*, 2011).

Uso eficiente del agua.

Significa aprovechar mejor el recurso agua y asegurar mayor eficiencia de su uso, es decir usar menos agua para producir más. Por eso se deben aplicar medidas que reduzcan la cantidad de agua que se utiliza, por unidad de cualquier actividad. Una medida de uso eficiente del agua es una práctica que favorece el mantenimiento o el mejoramiento de la calidad del agua.

Un uso eficiente del agua es el resultado de la eficiencia en:

- 1- El almacenamiento del agua.
- 2- La conducción del agua de riego o agua potable.
- 3- El sistema de distribución del agua.
- 4- La eficiencia de aplicación del agua.
- 5- La eficiencia en el uso de agua por la planta (González *et al.*, 2012).

El estudio de las funciones agua rendimiento y su uso dentro de la planificación del agua es una vía estratégica importante para lograr el incremento de la productividad. Utilizando datos de varios experimentos realizados en la Estación Experimental del instituto de investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD) y con

ayuda de herramientas de análisis de regresión en este trabajo se calcula la productividad del agua aplicada por riego (WP_I), y el agua total (WP_T).

La productividad del agua aplicada por riego en los cultivos (WP_I) se define como la cosecha producida por unidad de agua consumida en la producción (t/m^3 o kg/m^3). El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento del cultivo, mientras que en el denominador puede usarse la transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o agua total entre (Herrera *et al.*, 2011).

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en las diferentes Unidades Básicas de Producción Cooperativa pertenecientes a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú en el municipio Santa Clara, provincia Villa Clara. La investigación se llevó a cabo en los meses de enero a marzo de 2018. Las tecnologías de riego evaluadas fueron por aspersión, con el empleo de máquinas de pivote central eléctrica.

2.1. Metodología para la caracterización de los sistemas de riego utilizados en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

La caracterización de los sistemas de riego utilizados en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú se realizó a partir de la consulta en los documentos base de la empresa que describen los sistemas de riego utilizados. Además, se acudió a las entrevistas a los dirigentes y personal de servicio de las UBPC y de la empresa, así como a los manuales e instructivos técnicos de los sistemas de riego de dicha empresa.

2.2. Metodología para la determinación de la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Se utilizó información sobre los consumos de agua, agua aplicada por riego, precipitaciones y los rendimientos de los cultivos obtenidos durante el período analizado en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. Se analizaron los cultivos sembrados en las máquinas de riego de pivote central eléctrica.

La eficiencia en el uso del agua se determinó a partir del cálculo de la productividad del agua y de la respuesta en rendimiento agrícola de los cultivos al riego. Para esto se utilizó la metodología descrita a continuación:

Productividad del agua de riego aplicada

Se determinó mediante la siguiente ecuación

$$WP_I (kg/m^3) = \frac{R(kg/ha)}{I(m^3/ha)} \quad [3]$$

Donde:

WP_I - la productividad del agua de riego aplicada (kg/m^3);

R - rendimiento agrícola de los cultivos (kg/ha);

I - norma total bruta de agua de riego aplicada m^3/ha (González *et al.*, 2010).

$$WP_T(kg/m^3) = \frac{R(kg/ha)}{T(m^3/ha)} \quad [4]$$

Donde:

WP_T - es la productividad del agua total (norma total de riego más precipitaciones) (kg/m^3);

T - Total de agua aplicada al cultivo m^3/ha (González *et al.*, 2010).

El agua total aplicada al cultivo se refiere a la suma del agua aplicada por riego y las precipitaciones efectivas en el período vegetativo de cada cultivo estudiado.

Estas últimas se obtuvieron a partir de información obtenida en el Instituto de Meteorología de la provincia de Villa Clara. Las precipitaciones caídas durante los períodos estudiados fueron convertidas a precipitaciones efectivas, mediante el método de Savo, según (Pacheco, 2006).

Método de Savo

Se trabaja con la Tabla 2.1 que se muestra en los anexos, para entrar en esta es necesario conocer la pendiente del terreno, la precipitación mensual y las características del suelo, obteniéndose de la tabla el coeficiente m_1 . A continuación se trabaja en la Tabla 2.2 que se muestra en los anexos y para entrar en ella se necesita la profundidad radicular en metros, la categoría del suelo según la Tabla 2.1 y la lluvia mensual en milímetros; se obtiene entonces de la tabla el coeficiente m_2 . Seguidamente se multiplican los coeficientes m_1 y m_2 , para obtener el coeficiente de efectividad de la lluvia (M), para cada mes del año. La lluvia aprovechada se obtiene al multiplicar el coeficiente M por la lluvia mensual caída.

CAPÍTULO 3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la caracterización de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú y los sistemas de riego utilizados.

La Empresa Agropecuaria Valle del Yabú se encuentra ubicada en la carretera de Sagua en el km 4 en el municipio cabecera de Santa Clara, provincia de Villa Clara. Esta empresa es una de las dos de su tipo existentes en el país, por estar vinculadas a la universidad, cuenta con un total de 3475 ha de suelo, de ellas 335 ha están bajo riego, esta cuenta con alrededor de 1050 trabajadores, alrededor de 271 son técnicos, una dirección general, 11 unidades empresariales de base, de ellas, 7 son productivas y 4 de servicios, 4 unidades básicas de producción cooperativas (UBPC), 4 de cooperativas de producción agropecuarias (CPA) y 6 cooperativas de crédito y servicio (CCS). El objeto social de la empresa es la producción de viandas, hortalizas, granos, frutales y la ganadería con el propósito de abastecer a la ciudad de Santa Clara, así como para las ventas internas en C.U.C. La Empresa Agropecuaria Valle del Yabú es una entidad que funciona bajo el principio del autofinanciamiento, posee personalidad jurídica propia y pertenece al Ministerio de la Agricultura. La misión de la empresa agropecuaria "Valle del Yabú", es producir y comercializar viandas, hortalizas, granos, frutales, leche y carne vacuna, así como la industrialización de algunos de estos productos para abastecer la población, dedicando una parte de esta producción a la comercialización en moneda libremente convertible, además la elaboración de medios biológicos contra plagas y enfermedades logrando por estas vías el autofinanciamiento.

Esta empresa cuenta con una serie de sistemas de riego los cuales le permite mantener los cultivos que necesitan del riego para producir o mantener el ciclo productivo durante los meses de pocas precipitaciones y en los períodos secos, algunos de estos sistemas de riego son: aspersión portátil, enrolladores, por

goteo y pivote central eléctrica, el cual los datos son similares a los que se muestran en la Tabla 3.1 de una de estas máquinas situadas en una de las UBPC de la empresa.

Tabla 3.1. Características de la máquina de riego de pivote central eléctrica Ubicada en la UBPC 3.

Máquina	Marca	No. de Torres	No. de Surtidores	Longitud (m)	Eficiencia de diseño (%)	Área Regada (ha)	Caudal (ls)	Presión (bar)
Pivote Central	Western	5	116	239	85	17.3	2.45	1.9



Figura 1. Máquina de riego pivote central eléctrica.

3.2. Resultados del cálculo la eficiencia del uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú.

Las variables climáticas como la temperatura mínima, media y máxima, así como la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones fueron obtenidas de la

Estación Agrometeorológica “Valle del Yabú”, situada en los 22° 27' 54" de latitud norte y 79° 59' 51" de longitud oeste.

Se utilizó información sobre los consumos de agua, agua aplicada por riego, precipitaciones y los rendimientos de los cultivos obtenidos durante el período analizado en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. Se analizaron los cultivos sembrados en las máquinas de riego de pivote central.

La Tabla 3.2 muestra los cultivos analizados, el área total sembrada, la producción (R), el agua de riego aplicada (I), las fechas de siembra y cosecha.

Tabla 3.2. Datos base de cada uno de los cultivos.

CULTIVO	Agua de riego aplicada m ³ /ha	Área sembrada ha	Producción kg/ha	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Papa	4500	8	25000	5/1/2018	9/4/2018
Frijol	1363	6	1700	15/1/2018	15/4/2018
Papa	4800	8	29900	28/12/2016	5/4/2017
Frijol	3920	6	1580	12/1/2017	12/4/2017
Papa	4800	14	27600	26/12/2016	7/4/2017
Maíz	1200	14	12800	26/4/2017	5/9/2017
Papa	4707,6	14	30560	22/12/2016	20/3/2017
Papa	1126,7	11	17880	8/1/2018	30/3/2018
Papa	3300	10	22500	29/12/2015	20/3/2016
Malanga	5100	10	20000	20/3/2016	20/4/2017
Papa	3600	15	27000	8/1/2014	10/4/2014
Boniato	600	8	12000	1/6/2017	12/9/2017
Frijol	3600	12	11210	11/2/2016	8/4/2016
Papa	3000	15	23300	5/1/2018	31/3/2018

La relación entre el rendimiento agrícola y el agua aplicada por riego se muestra en la Figura 2. Aquí se aprecia una tendencia a incremento del rendimiento con un incremento del agua aplicada. El ajuste de la curva a una ecuación polinómica con un valor del coeficiente de determinación R^2 de 0,45 es aceptable (González *et al.*, 2010), lo cual coincide con valores y tendencias similares en los trabajos de (González, 2010) (González *et al.*, 2011) (Herrera *et al.*, 2011).

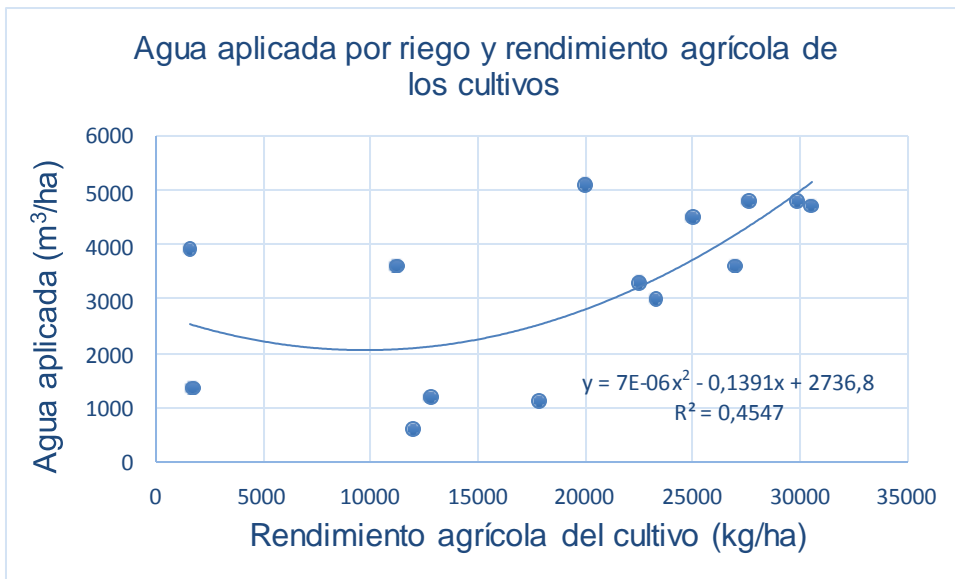


Figura 2. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua aplicada por riego (I) para todos los cultivos.

Se realizó un análisis de la distribución de frecuencias con intervalos de 3 kg/m³ de agua aplicada, que se aprecia en la Tabla 3.3. La frecuencia de 6 a 9 kg/m³ fue la mayor observada para la papa, con 6 valores en este rango de los 8 valores obtenidos. Para el caso del frijol la mayor frecuencia estuvo en el intervalo inicial, de 0 a 3 kg/m³, con dos valores. Los demás cultivos no se analizaron debido al bajo número de observaciones.

Tabla 3.3. Rango de valores de la productividad del agua aplicada por riego obtenidos en para este estudio para papa, maíz, frijol, malanga y boniato.

Rango de WP _i (kg/m ³)	Frecuencia de los datos				
	Papa	Frijol	Boniato	Malanga	Maíz

0 – 3	0	2	0	0	0
3- 6	1	1	0	1	0
6- 9	6	0	0	0	0
9- 12	0	0	0	0	1
12-15	0	0	0	0	0
15-18	1	0	0	0	0
18-21	0	0	1	0	0

Una dificultad encontrada durante la realización del trabajo fue que la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú no dispone de un registro, a nivel de la entidad o de las UBPC en los que se asente el agua aplicada durante el riego de los cultivos, lo cual hace difícil la obtención de los datos primarios para la realización de este tipo de trabajo.

La Tabla 3.4. muestra el agua total aplicada a todos los cultivos, es decir el agua de riego aplicada más las precipitaciones efectivas en el período. Aquí se aprecia un aumento del agua aplicada en valores de 478,8 a 1152,7 m³/ha debido a la lluvia en el cultivo de la papa y en el frijol se refleja un aumento de 470,3 a 1106,3 m³/ha.

Tabla 3.4. Precipitaciones en el período, agua aplicada al cultivo, precipitaciones efectivas y agua total aplicada a los cultivos.

Cultivos	I (m ³ /ha)	P (mm)	Pe (m ³ /ha)	T (m ³ /ha)
Papa	4500	149,9	1106,3	5606,3

Frijol	1363	149,9	1106,3	2469,3
Papa	4800	103,2	761,4	5561,4
Frijol	3920	78,8	606,6	4526,6
Papa	4800	62,2	478,8	5278,8
Maíz	1200	923,8	6574,7	1857
Papa	4707,6	62,2	478,8	5186,4
Papa	1126,7	149,9	1106,6	2233,3
Papa	3300	176,1	1152,7	4452,7
Malanga	5100	1026,5	6622,3	117223
Papa	3600	35,8	275,6	3875,6
Boniato	600	800,7	5132	5736
Frijol	3600	61,1	470,3	4070,3
Papa	3000	149,9	1106,6	4106,3

La relación entre el rendimiento agrícola del cultivo y el agua total aplicada se muestra en la Figura 3. Aquí se aprecia un incremento del rendimiento con un incremento del agua total aplicada al cultivo. La curva ajusta a una ecuación polinómica con un valor de coeficiente R^2 igual a 0,5254 el cual es aceptable.

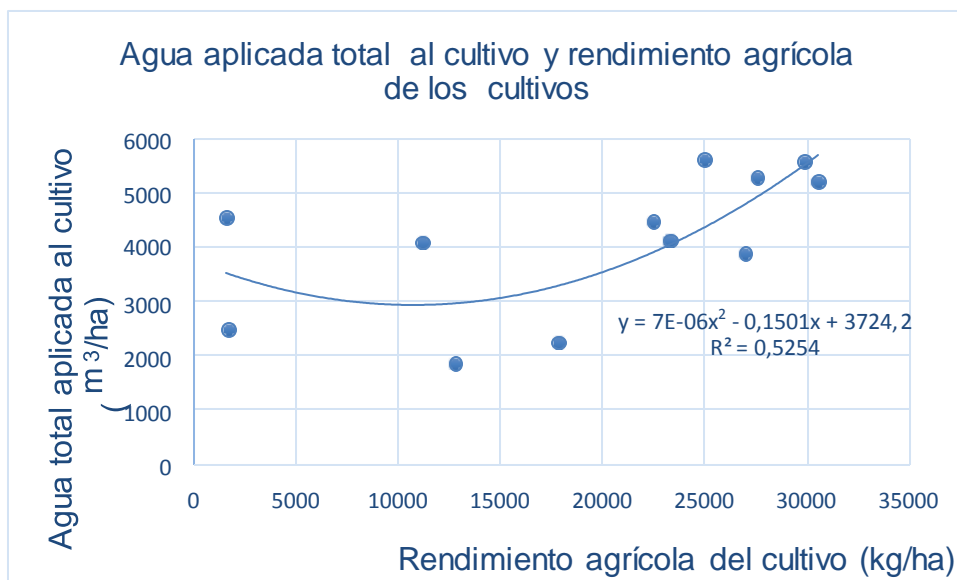


Figura 3. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua total aplicada al cultivo (T), para todos los cultivos.

El cumplimiento de las normas netas de agua de riego para el caso de la papa de 90 días en Villa Clara es de 4100 m³/ha (Duarte *et al.*, 2015) y en el caso de los datos obtenidos en la investigación el agua aplicada por riego más las precipitaciones en el periodo su promedio fue aproximadamente de 4841 m³/ha existiendo un exceso del uso del agua aplicada de 741 m³/ha lo cual nos permite observar que no se hizo un adecuado uso del agua. Resultado similar encontró (Pacheco; Pérez, 2010) quienes evaluaron la eficiencia del riego en el cultivo de la papa y obtuvieron que se le aplica un exceso de agua y que se le hacía el riego a la papa con una frecuencia alta 3,5 días lo cual provocaba el lavado excesivo del follaje. Al comparar los valores del agua total aplicada a la papa en este trabajo se observa como el agua aplicada es casi el doble a la que se aplicó en el trabajo de (Pacheco, 2010) lo cual confirma la tendencia al excesivo riego en la papa.

Para el cultivo del frijol la norma neta de agua de riego toma valores de 3000 m³/ha (Duarte *et al.*, 2015) y en el caso del promedio de los datos del cultivo, el agua aplicada por riego y las precipitaciones en ese periodo fue de 3927 m³/ha lo cual indica que existe un exceso del uso del agua aplicada de 927 m³/ha por eso decimos que no se realizó un uso eficiente del agua aplicada lo cual se muestra en la Tabla 3.5. Otros trabajos realizados sobre el uso del agua en el cultivo del frijol han mostrado un consumo de agua similar al presentado aquí

(González *et al.*, 2017), en ambos casos no se alcanzó la norma propuesta por (Duarte *et al.*, 2015), sin embargo al agua aplicada en ambos casos fue superior a la propuesta por (González *et al.*, 2017) quienes calcularon las necesidades hídricas del frijol, para las condiciones de esta empresa y encontraron que se satisfacían con 2518 m³/ha.

Para el cultivo del maíz la norma neta de agua de riego es de 4600 m³/ha (Duarte *et al.*, 2015), sin embargo en esta investigación el agua aplicada de 10430 m³/ha el cual indica un notable exceso de agua aplicada de unos 5830 m³/ha lo cual indica que no se realizó un uso eficiente del agua aplicada.

En el caso de cultivo de la malanga la norma neta de agua de riego es de 13200 m³/ha (Duarte *et al.*, 2015) pero en los datos tomados el agua aplicada es de 6126,5 m³/ha el cual indica que no se llegó a aplicar la norma neta para este cultivo con una diferencia ausente de agua de 7074 m³/ha, lo cual es muy beneficiosa dado que el rendimiento del cultivo fue también muy superior al alcanzado en los últimos años (ONEI, 2017). Al determinar la productividad del agua de la malanga según el rendimiento agrícola promedio del país en el 2016 y la norma neta propuesta por Duarte *et al.*, (2015) se alcanza un valor de la productividad del agua de 1,13 kg/m³ que como se aprecia es muy inferior a la obtenida en este trabajo.

Para el caso del boniato la norma neta de agua de riego es de 4648 m³/ha (Duarte *et al.*, 2015) y en los datos tomados se muestra que el valor del agua aplicada es de 1400,7 m³/ha lo que nos muestra que no se alcanzó la norma neta de agua de riego con una diferencia de 3247,3 m³/ha lo cual es un valor muy beneficioso dado que el rendimiento del cultivo fue también muy superior al alcanzado en los últimos años (ONEI, 2017). Al determinar la productividad del agua del boniato según el rendimiento agrícola promedio del país en 2016 y la norma neta propuesta por (Duarte *et al.*, 2015) se alcanza un valor de la productividad del agua de 11,72 kg/m³ que como se aprecia es muy inferior a la obtenida en este trabajo.

Tabla 3.5. Normas netas de agua de riego para Villa Clara y el agua aplicada al cultivo.

Cultivos	Normas netas de agua Promedio de agua aplicada de riego en Villa Clara al cultivo	
	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)
Papa	4100	4841,25
Frijol	3000	3927
Maíz	4600	10438
Malanga	13200	6126,5
Boniato	4648	1400,7

La Tabla 3.6 muestra los valores de agua aplicada, rendimiento agrícola del cultivo, precipitaciones efectivas, productividad del agua de riego aplicada y productividad del agua total aplicada a cada cultivo.

Tabla 3.6. Productividades agronómicas del agua, el agua aplicada, el rendimiento de los cultivos y las precipitaciones efectivas.

Cultivos	Pe (m ³ /ha)	R (kg/ha)	Agua aplicada	WP _I (kg/m ³)	WP _T (kg/m ³)
Papa	1106,3	25000	5999	5,55	4,45
Frijol	1106,3	1700	2862	1,25	0,68
Papa	761,4	29900	5832	6,23	5,37
Frijol	606,6	1580	4708	0,40	0,34
Papa	478,8	27600	5422	5,75	5,22
Maíz	6574,7	12800	10438	10,66	6,89
Papa	478,8	30560	5329,6	6,49	5,89
Papa	1106,6	17880	2618,7	15,86	8,0
Papa	1152,7	22500	5062	6,81	4,45
Malanga	6622,3	20000	6126,5	3,92	1,70
Papa	275,6	27000	3968	7,5	6,96
Boniato	5132	12000	1400,7	20	2,09
Frijol	470,3	11210	4211	3,11	2,75
Papa	1106,6	23300	4499	7,76	5,67

La relación entre el agua aplicada por riego y la productividad del agua total se muestra en la Figura 4. En esta se observa un decrecimiento de la productividad del agua total con un incremento del agua aplicada por riego. El ajuste de la curva a una ecuación polinómica con un valor del coeficiente de determinación R^2 de 0,50 muestra un valor aceptable del modelo. Al analizar los valores de las productividades del agua total encontramos que empeora los valores de la eficiencia en el uso del agua, dado que el incremento del uso del agua por encima de las normas de riego muestra la ineficiencia en el uso del agua por parte de la empresa.

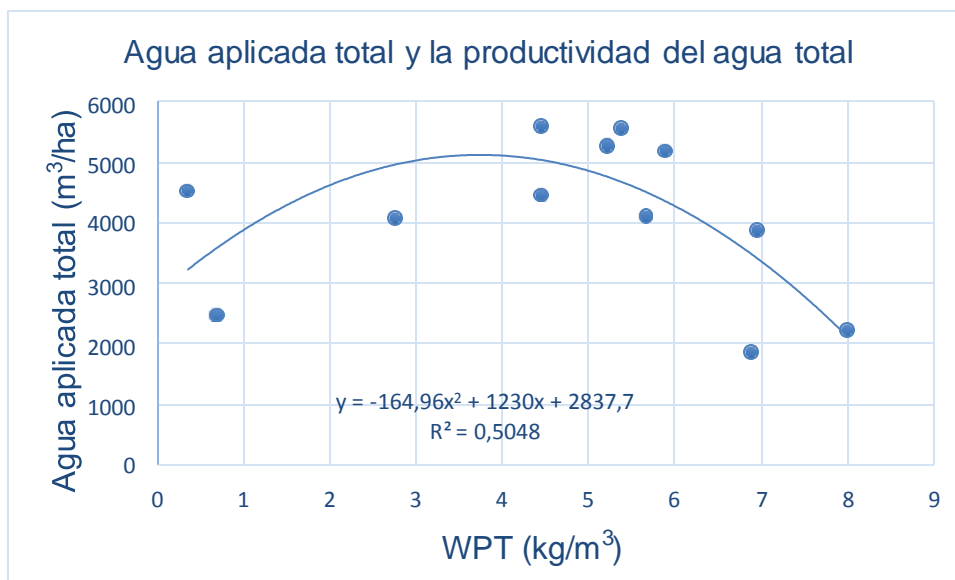


Figura 4. Relación entre la productividad total del agua (WP_T) y el agua aplicada total (T), para todos los cultivos.

La relación entre el agua aplicada total y el rendimiento agrícola del cultivo de la papa se muestra en la Figura 5. Aquí se aprecia un incremento del rendimiento agrícola del cultivo con un incremento del agua aplicada total. El ajuste de la curva a una ecuación polinómica con un valor del coeficiente de determinación R^2 de 0,891 el cual es bueno. Esta ecuación y como lo muestra la figura expresan

claramente el incremento del rendimiento agrícola con el aumento del consumo de agua. Sin embargo, teniendo en cuenta el déficit de agua en el futuro, más los proyectos de incrementos en las áreas bajo riego llevan a expresar que se necesita hacer un uso más racional del agua, lograr alcanzar los más altos rendimientos con un menor consumo de agua. Para lograr esto una medida puede ser la aplicación de métodos de riego con déficit hídrico, con lo cual se lograría disminuir el consumo de agua, así como aumentar su productividad. Esta propuesta ha sido comprobada por (Howell *et al.*, 1997) y (Zwart; W.M.Bstiaanssen., 2004) en experimentos con diferentes niveles de riego donde quedó demostrado que el riego deficitario usualmente tiene valores más altos de productividad del agua.

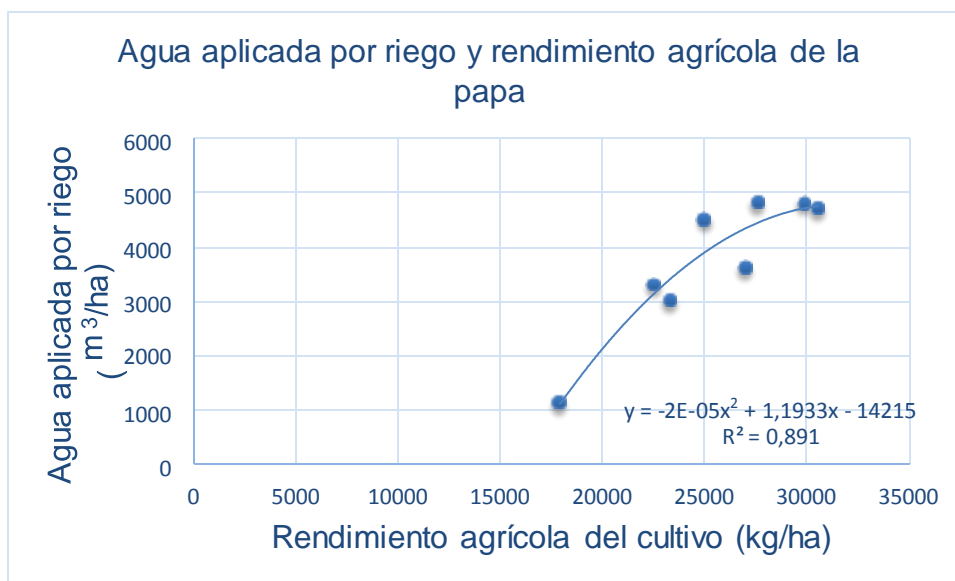


Figura 5. Relación entre el rendimiento (R) y el agua aplicada por riego (I) para la papa.

La relación entre la productividad del agua y el agua aplicada por riego se muestra en la Figura 6. Aquí se aprecia un decrecimiento de la productividad del agua con un incremento del agua aplicada por riego. El ajuste de la curva a una ecuación polinómica con un valor de determinación de R^2 de 0,50.

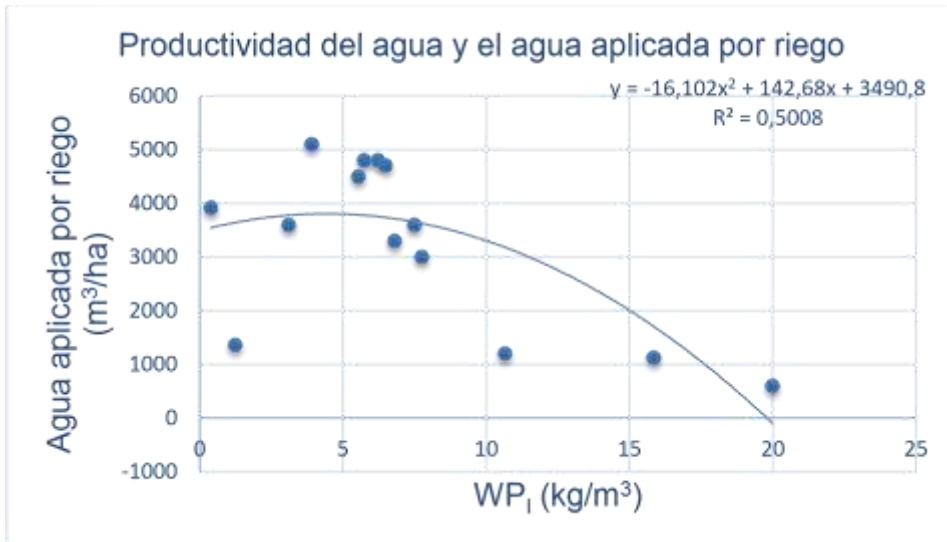


Figura 6. Relación entre la productividad del agua (WP₁) y la cantidad del agua aplicada por riego (I) para todos los cultivos.

La relación entre la productividad del agua y el agua aplicada por riego se muestra en la Figura 7. Aquí se aprecia un incremento de la productividad del agua con una disminución del agua aplicada por riego. El ajuste de la curva a una ecuación polinómica con un valor de determinación R² de 0,89.

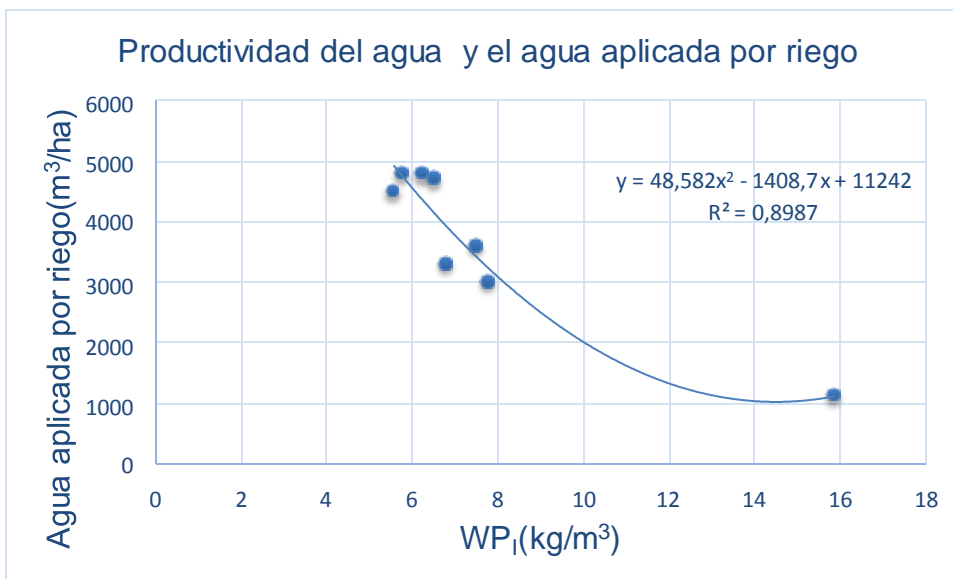


Figura 7. Relación entre la productividad del agua (WP_i) y el agua aplicada por riego (I) para la papa.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES □ Se determinó la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú usando las funciones de productividad del agua de riego y productividad total del agua a partir de información disponible en la empresa.

- En los cultivos del boniato y de la malanga la productividad del agua aplicada por riego fue superior a las reportadas en la literatura por lo que se hace un uso eficiente del agua en estos cultivos.
- En los cultivos de papa, maíz y frijol la productividad del agua aplicada por riego fue inferior a las reportadas en la literatura por lo que no se hace un uso eficiente del agua en estos cultivos.

- De forma general se hace un uso ineficiente del agua aplicada a los cultivos debido a que se aplica agua a los cultivos por encima de las normas netas propuestas y no se tiene en cuenta el agua aportada por las precipitaciones.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- La Empresa debe llevar un registro de cuánta agua de riego se le aplica a cada cultivo.
- La Empresa debe tener en cuenta las precipitaciones efectivas obtenidas del agua de lluvia durante la aplicación del riego a los cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; L. S. PEREIRA; D. RAES; M. SMITH: *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, vol., pp., 2006.
- AYERS, R. S. Y. W., D.W: *Calidad del agua en la Agricultura*, vol., pp. Roma, Italia, 1987.
- BONET, C. A. M. P. R.: "Calidad del agua de riego su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la empresa cultivos varios Sierra de Cubitas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*: 19-23, 2011.
- DUARTE, C.; J. HERRERA; T. LÓPEZ; F. GONZÁLEZ; E. ZAMORA: "Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(4): 46-51, 2015.
- GACETA OFICIAL: "Ley No. 124 "De las Aguas Terrestres"", *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 27: 2017.
- GONZÁLEZ, F.: "Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1): 65-72, 2010.
- : "Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3): 5-11, 2013.
- : "Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 21-27, 2014.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; O. HERNÁNDEZ; T. LÓPEZ; G. CID: "Base de datos sobre necesidades hídricas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 4247, 2012.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ: "Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1): 65-72, 2010.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ; G. CID: "Respuesta de los cultivos al déficit hídrico", *Ingeniería Agrícola*, 1(2): 34-40, 2011.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ; G. CID; R. DIOS-PALOMARES; M. HERNÁNDEZ; W. SALAZAR; A. ROMERO: "Uso de las Funciones Agua-Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. ", *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1): 95-114, 2015.
- GONZÁLEZ, O.; B. ABREU; M. HERRERA; E. LÓPEZ: "Water Use for Bean Irrigation on Eutric Cambisol Soils", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1): 70-77, 2017.
- HERRERA, J.; F. GONZÁLEZ: "Estudio de las necesidades de agua de los cultivos, una demanda permanente, un nuevo enfoque", *Ingeniería Agrícola*, 5(1): 52-57, 2015.
- HERRERA, J.; T. LÓPEZ; F. GONZÁLEZ: "El uso del agua en la agricultura en Cuba", *Ingeniería Agrícola*, 1(2): 1-7, 2011.
- HOWELL, T. A.; D.SCHNEIDER;; R.EVETT: *Subsurface and surface micriirrigation of corn SouthernHigh Plains*, Transaction of the ASAE ed, vol., pp., 1997.
- INRH: 2011. *Demanda de agua del MINAG en el periodo del 2007-2011. Direccion de Obras Hidraulicas , Informe preparado para la direccion de ingenieria Agricola [en línea]*, vol., pp. La Habana , Cuba, 2011, Disponible en.
- IWMI: *¿Como se pueden producir mas alimentos con menos agua?*, vol., pp. Colombo , Sri Lanka, 2009.

- LÓPEZ, T. H., J.;GONZÁLEZ,F.;CID,G.;Y.CHATERLÁN: "Eficiencia de un modelo de simulacion de cultivo para la prediccion del rendimiento del maíz en la region del sur de la Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18: 1-6, 2009.
- MACHADO, L.: *Acometen programa de desarrollo Integral en el Yabú, [en línea] [Consulta]*.
- MADRAMOOTOO, C. Y. H. F.: "Irrigation in the contextof today is global food crissis , Irrigation and Drainage ", *Irrig and Drain* 59: 40-52, 2010.
- MATOS;M.: "Política nacional del agua", *Revista voluntad Hidraulica*, 106: 46-51, 2013.
- MINAG: *Balance Nacional de áreas bajo riego*, vol., pp. La Habana , Cuba, 2010.
- ONEI: en *ANUARIO ESTADÍSTICO DE CUBA 2016*, ed, pp., 2017.
- ORTEGA, S. F.: "Las causas de la salinidad en Cuba", *MINAGRI*: 1986.
- PACHECO, J.: *Riego y Drenaje*, Editorial Félix Varela ed, vol., pp. La Habana 2006. --
-: "Evaluación del manejo del riego de la papa en la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”, Santa Clara, Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 47-52, 2010.
- PACHECO, J.; A. PÉREZ: "Evaluación del manejo del riego de la papa en la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”, Santa Clara, Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 47-52, 2010.
- RIJSBERMAN, F. N. M. S. D. S.: "AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA VERDE Y AZUL PARA EQUILIBRAR EL AGUA PARA LAALIMENTACION ", *IV: Forum mundial de agua, Intituto internacional para manejo del agua*: 2006.
- SÁNCHEZ, L. D. Y. A. S.: "Uso eficiente del agua", *Water and Sanitation Centre; CINARA*: 2004.
- VÁZQUEZ, V., M.; L. MINJARES ; E. CAMACHO; M. HERNANDEZ, L.; J. RODRIGUEZ, A.: "Uso del analisis Envolvente de Datos(DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los modulos del distrito No.041, Rio yanqui (Sonora Mexico)", 49: 2017.
- WHO/UNICEF: *Evaluacion Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento*, vol., pp. Nueva York, 2000.
- ZWART, S. J.; W.M.BSTIAANSEN.: *Review of measured crop water productivity values of irriagtes wheat, rice, cotton and maize*, *Agricultural water Management* ed, vol., pp., 2004.

Anexos

