

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Departamento de
Ingeniería Agrícola

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Eficiencia en el uso del agua de riego en la UEB Integral
Agropecuaria Quemado de Güines.**

Autor: Arisbel Betancourt Rodríguez

Tutor: Ms.c Yuriel Leon Silverio

Santa Clara , Julio,2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Academic Department
of Agricultural
Engineering

DIPLOMA THESIS

**Title: Efficiency in the use of irrigation water in the UEB
Integral Agropecuaria Quemado de Güines.**

Author: Arisbel Betancourt Rodríguez

Thesis Director: Ms.c Yuriel Leon Silverio

Santa Clara, July, 2019
Copyright©UCLV

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 UEB Integral Agropecuaria se encuentra ubicada en el Municipio de Quemado de Güines. 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 la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines y con ayuda de herramientas de análisis se calcula la productividad del agua aplicada por riego (WPI), la productividad del agua total (WPI), las precipitaciones efectivas (Pe) y el agua total aplicada (T), en los cultivos boniato, frijol y calabaza. En el boniato la productividad del agua aplicada por riego (WPI) fue superior a la del resto de los cultivos, de 15.76 kg/m^3 para un agua aplicada de $1400,8 \text{ m}^3/\text{ha}$, en el frijol el promedio de la (WPI) alcanzó valores de 0.44 kg/m^3 con $3927 \text{ m}^3/\text{ha}$, en el caso de la calabaza fue de 2.6 kg/m^3 con $4634.3 \text{ m}^3/\text{ha}$. Los resultados mostraron una baja productividad e ineficiencia en el uso del agua para los cultivos calabaza y el frijol, no el caso del boniato donde se obtuvieron valores de productividad del agua que muestran un uso eficiente del agua en este cultivo. 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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.

ABSTRACT

This work was carried out in the UEB Integral Agropecuaria located in the Municipality of Quemado de Güines. 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 the UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines and with the help of analysis tools, the water productivity applied by irrigation (WPI), the total water productivity (WPI), the effective rainfall (P_e) and the total water applied (T), in the sweet potato, bean and squash crops. In the sweet potato the water productivity applied by irrigation (WPI) was higher than that of the rest of the crops, of $15.76 \text{ kg} / \text{m}^3$ for an applied water of $1400.8 \text{ m}^3 / \text{ha}$, in the bean the average of the (WPI) reached values of $0.44 \text{ kg} / \text{m}^3$ with $3927 \text{ m}^3 / \text{ha}$, in the case of the pumpkin it was $2.6 \text{ kg} / \text{m}^3$ with $4634.3 \text{ m}^3 / \text{ha}$. The results showed a low productivity and inefficiency in the use of water for pumpkin and bean crops, not the case of sweet potato where water productivity values were obtained that show an efficient use of water in this crop. 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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a toda mi familia, mi mamá y a mi papá, a mis hermanos, a mi novia, a todos mis compañeros que estuvieron conmigo en estos cinco años de sacrificio, a todas las personas que de alguna forma me ayudaron en la confección del presente trabajo, muchas gracias.

Gracias a mi tutor el Ms.C Yuriel Leon Silverio por estar presente siempre que lo necesitara y por compartir sus conocimientos conmigo.

A los compañeros de la UEB Integral de Quemado de Güines, por tener tanta paciencia y ayudarme en esta investigación.

Muchas Gracias

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a todas las personas que me apoyaron durante toda mi carrera, a mis padres y en especial a mi niña que está por venir al mundo.

Muchas Gracias

PENSAMIENTO

Cuando uno sabe para que sirve todo lo que da la tierra y sabe lo que ha hecho el hombre a lo largo de tantos años, siente unos deseos de hacer más que ellos todavía y eso es la vida, por ende, todo hombre tiene el deber de cultivar su inteligencia por respeto a sí mismo y a la humanidad.

José Martí.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
Problema Científico.....	3
Hipótesis.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 Principales sistemas de riego utilizados en cuba.....	4
1.1.1 Riego por goteo.....	4
1.1.2 Riego automático.....	9
1.1.3 Riego por Aspersión.....	10
1.1.4 Riego por Nebulización.....	16
1.1.5 Riego por gravedad.....	17
1.2 Problemática general del uso del agua para la agricultura y su particularidad en cuba.....	18
1.3 El riego en Cuba y las cuencas hidrográficas.....	19
1.4 Necesidades hídricas de las plantas.....	20
1.5 Factores que inciden en las pérdidas de eficiencia en los sistemas de riego.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1 Metodología para la caracterización de los sistemas de riego utilizados en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.....	26
2.2. Metodología para la determinación de la eficiencia en el uso del agua de riego en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.....	26
RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	30
3.1 Caracterización de la empresa.....	30

3.2. Resultados del cálculo la eficiencia del uso del agua de riego en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.....	31
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES.....	42

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

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.

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. (Martinez, 2013)

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. (Santos *et al.*, 2004)

Diversos autores han señalado la importancia que adquiere en la planificación y operación del riego y el conocimiento de las funciones agua rendimiento.

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.

La actividad de Riego y Drenaje, prácticamente inexistente antes de 1959, ha tenido al igual que muchas otras esferas del Sector Agropecuario, un extraordinario desarrollo, habiéndose dedicado por el Estado cuantiosas inversiones en el fomento de fuentes de abastos, sistemas de riego y drenaje, formación de profesionales y técnicos especializados, así como las bases necesarias para la creación de una industria nacional de equipos de regadío. Antes de 1959 el país contaba con solo 13 embalses que almacenaban 48 hm³, destinados

fundamentalmente al abastecimiento de la población y el riego de la caña de azúcar. A finales del año 2000 existían 241 embalses, con una capacidad total de 8810 hm³ (INRH 2000). El área bajo riego aumento de 162 000 ha en 1958, hasta 1 062 191 ha en 1991, la cifra más alta de la historia (incluida la caña de azúcar).

La crisis económica ocurrida a partir de 1991, motivada por el derrumbe del bloque socialista de los países del este de Europa y el injusto bloqueo económico por parte del Gobierno de Estados Unidos, ha provocado serias afectaciones al desarrollo hidráulico cubano. Por una parte, se detuvo el proceso inversionista en las obras hidráulicas, incluyendo los sistemas de riego y drenaje, además, los recursos financieros existentes no fueron suficientes para el mantenimiento de los sistemas ya construidos, por tales razones en el año 2000 habían perdido valor de uso para regadíos unas 160 577 ha, disminuyendo el área bajo del país un 27 %. Aunque en el 2002 se aprecian signos de recuperación, por los incrementos de nuevas áreas bajo riego (arroz popular, huertos y organopónicos).

Por otro lado, y por las mismas razones antes expuestas hubo un decrecimiento de la fuerza técnica que no ha permitido explotar eficientemente los sistemas de riego y el drenaje. La situación actual en el riego y el drenaje se torna difícil, debido a la inestabilidad en el suministro de Diésel y el deterioro acelerado de los sistemas de riego, no obstante, el país hace inusitados esfuerzos para mantener los niveles de áreas bajo riego y lograr un mejor uso del agua y la energía e incrementar las producciones agrícolas. Este trabajo, apoyado en la investigación y recopilación de datos tiene como objetivo ofrecer información sobre la situación actual del riego y el drenaje en Cuba, así como las perspectivas y tendencias futuras.(Baucells *et al.*, 2004)

Problema científico

Cuál es la eficiencia del uso del agua en el riego de los diferentes cultivos de la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines

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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.

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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines

Objetivos específicos

- 1 Caracterizar la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.
- 2 Determinar las precipitaciones efectivas en la zona de estudio.
- 3 Calcular la eficiencia en el uso del agua de riego en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Capítulo 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Principales sistemas de riego utilizados en Cuba.

La agricultura de riego consiste en el suministro de las necesarias cantidades de agua a los cultivos mediante diversos métodos artificiales de riego. En nuestro país existen diversos de estos métodos de regadío que nos ayudan a aumentar nuestra agricultura como lo son:

1.1.1 Riego por goteo.

De forma muy general, se puede definir el Riego por Goteo como *Riego Localizado*. El riego por goteo o riego gota a gota es un método de irrigación que permite una óptima aplicación de agua y abonos en los sistemas agrícolas de las zonas áridas. El agua aplicada se infiltra en el suelo irrigando directamente la zona de influencia radicular a través de un sistema de tuberías y emisores. Para la realización del riego se utilizan pequeños caudales, a presiones relativamente bajas, lo que permite una gran economía de agua y energía. (Seguí *et al.*, 2006)

Componentes de los sistemas de riego localizados:

Un sistema de riego localizado generalmente está conformado por los elementos siguientes:

Estación de bombeo.

Cabezal de riego.

Tuberías principales.

Tuberías secundarias y distribuidoras.

Tuberías laterales.

Emisores.

Actualmente se han añadido varias mejoras en los emisores:

Goteros autocompensantes:

Estos emisores ofrecen un caudal fijo dentro de un rango más o menos amplio de presión. La utilidad de estos goteros radica en la capacidad de homogeneización del riego a lo largo de una línea de riego, ya que los últimos emisores de la línea normalmente tienen una menor presión que los primeros debido a la caída de presión por rozamiento del agua con la tubería.

Goteros antidrenantes:

Estos goteros se cierran automáticamente al bajar la presión en el sistema de riego, de manera que no ocurre la descarga de la tubería, lo que produce ventajas tales como evitar la entrada de aire al sistema y la bomba de riego no necesita cargar el sistema para empezar a funcionar, por tanto, optimiza su uso. (Rodríguez *et al.*, 2005)

Goteros regulables:

Permiten regular el caudal con un mando mecánico.

Peculiaridades agronómicas del riego localizado:

El riego localizado introduce dos elementos que lo diferencian de otras técnicas de riego, ellos son: la localización del agua y la alta frecuencia de riego.

La localización del agua de riego presupone que una parte del volumen de suelo entre hileras de plantas quedará seco, lo que limita el área de acción de las raíces, porque al estar los nutrientes disueltos en el agua, donde no se humedece el suelo tampoco llegarán los fertilizantes. Los conceptos hasta ahora estudiados en relación con la evapotranspiración de los cultivos también se verán en algún grado afectados por la existencia de franjas secas y húmedas intercaladas en el campo, las cuales en su interacción afectarán el consumo de agua por los cultivos. (Pacheco *et al.*)

La alta frecuencia de riego que se usa en los sistemas de riego localizado, se explica por la reducción que se produce en la masa del suelo capaz de almacenar agua en comparación con otras técnicas y, por tanto, el bajo volumen de agua que

allí se aplica debe reponerse con frecuencia por el rápido uso que hacen las plantas de este, concentrado estrictamente en la zona radicular. En estos sistemas suele regarse en días alternos, diariamente o incluso más de una vez al día de modo que se mantiene muy alta la humedad del suelo en la zona radicular. (Pacheco *et al.*)

Ventajas del riego por goteo:

- Reduce de manera importante la evaporación del agua en el suelo.
- Permite automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra. El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo.
- Debido al mantenimiento de humedades altas en el bulbo realizado por los emisores, permite el uso de aguas más salinas para el riego que los sistemas de irrigación por superficie y por aspersión.
- Tiene una adaptación más fácil en terrenos irregulares, rocosos o con fuertes pendientes.
- Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas
- Permite el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego sin pérdidas por lixiviación con posibilidad de modificarlos en cualquier momento del cultivo, es decir es el sistema más adaptado a la *FERTIRRIGACION*.
- Fácil explotación.
- Ahorro de energía.
- Incremento de la cantidad y calidad del rendimiento.

Inconvenientes.

- Obstrucciones de los emisores por causas físicas, químicas y biológicas, lo que implica limpieza y cuidado de la calidad de agua.
- Exigen más capacidad técnica que otros sistemas, más si conlleva manejo eficiente de la nutrición.
- Hay que cuidar bien el manejo para no producir salinización de la zona radicular.

- Requiere un manejo y conservación cuidadoso, para evitar el lavado de nutrientes, deterioro de la instalación...
- En algunos casos el desarrollo radicular puede ser insuficiente ante situaciones límite. Esto hay que tenerlo en cuenta a la hora de colocar los emisores.

En cualquier caso, es necesario un buen diseño del sistema de riego y seguir luego la práctica adecuada del mismo, por lo cual debe hacer en toda su amplitud de un modo riguroso y técnicamente impecable, pues muchos de los problemas que da se deben a mal diseño y/o mal manejo. (Rodríguez *et al.*, 2005)

Cultivos y Clima.

El uso de sistemas de irrigación por goteo está muy extendido en cultivos frutales, cítricos, vid y hortícolas, especialmente en zonas templadas con escasez de recursos hídricos.

Partes de la instalación:

- Grupo de bombeo: para suministrar la presión y el caudal adecuado a la instalación.
- Filtración: el mayor o menor grado de espesor de filtración de la misma ira relacionado con la calidad del agua, y el tamaño de la boquilla del aspersor.
- Sistema de abonado.
- Red de tuberías.
- Tuberías portaemisores: el caudal y la separación entre emisores dependerá del cultivo que se trate y de las características de suelo donde se encuentre.

Cabezales

Permite hacer llegar el agua a los goteros con el caudal, presión, limpieza y concentración de elementos nutrientes requeridos.

Algunos parámetros importantes a tener en cuenta:

Porcentaje de superficie mojada (P.S.M.)

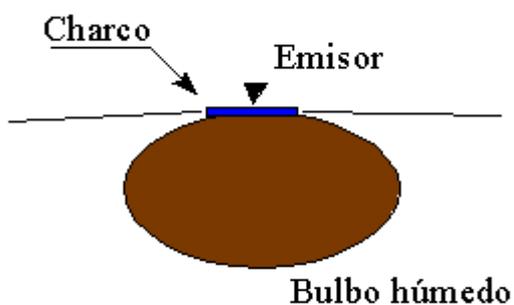
- Asegurar que el sistema radicular explora un volumen de suelo mínimo y preservar una reserva de agua mínima para el caso de avería.
- Las plantas necesitan un volumen de suelo inferior al que exploran en seco, debido a varios factores.
- En cultivos leñosos se suele mojar un 30-40% del suelo.
- La elección del P.S.M. es importante: valores alto suponen mayor seguridad, pero encarecen la instalación. También está en relación con la frecuencia de riegos que vayamos a dar.

Localización de las zonas húmedas

- Hace referencia a la distribución de los ramales porta emisores y la disposición de los mismos sobre el terreno.
- Conjugan el requisito de número de emisores por planta con la no interferencia en labores de cultivo.
- El número de posiciones es ilimitado.
- Hay que garantizar un desarrollo radicular equilibrado en todas las direcciones.
- En goteros interlínea es importante que los bulbos se solapen.

Estimación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo

- En el riego localizado es importante conocer la forma y dimensiones idóneas del volumen de suelo humedecido, pues desde ahí se pueden definir muchos parámetros: dosis y frecuencia, número y espaciamiento de emisores, caudal unitario por emisor, tiempo de riego...



Se denomina bulbo húmedo a la parte de suelo humedecida por un emisor de riego localizado

Las formas y patrones de humedecimiento dependen de:

- textura del suelo
- Estructura
- Estratificación
- Tipo de emisor.
- Tiempo de riego

1.1.2 Riego automático

Para el óptimo manejo del riego siempre resulta conveniente, en la medida de lo posible, disponer de sistemas automáticos de control del riego.

Ventajas:

- . Esto conlleva una serie de ventajas como:
 - Ahorro de mano de obra, agua y energía.
 - Mayor eficiencia de riego.
 - Control de operaciones relacionadas al riego (control económico del riego)

- Reducción de costes de mantenimiento (detección de fallos y la protección de los diferentes componentes del sistema de riego).
- Aumentos de la producción debido a la optimización del riego.

Componentes:

Los componentes de un sistema de control automático del riego son los siguientes:

- Sensores y/o transductores:
- Tensiómetros, manómetros, presostatos, medidores de caudal, detectores de nivel, etc.
- Actuadores: interruptores, electroválvulas, válvulas motorizadas, bombas, variadores de velocidad, arrancadores electrónicos, etc.
- Unidades de control (programadores, ordenadores, etc.
- Sistemas de protección eléctrica.
- Sistema de comunicación mediante PC acceso local al programador o acceso remoto a través internet y/o a través de telefonía móvil a través de SMS.

1.1.3 Riego por Aspersión

Con este método el agua se aplica al suelo en forma de lluvia utilizando unos dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan un chorro de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos a través de una red de tuberías cuya complejidad y longitud depende de la dimensión y la configuración de la parcela a regar. Por lo tanto, una de las características fundamentales de este sistema es que es preciso dotar al agua de presión a la entrada en la parcela de riego por medio de un sistema de bombeo. La disposición de los aspersores se realiza de forma que se moje toda la superficie del suelo, de la forma más homogénea posible. (Alonso, 2006)

Un sistema de riego tradicional de riego por aspersión está compuesto de tuberías principales (normalmente enterradas) y tomas de agua o hidrantes para la conexión de secundarias, ramales de aspersión y los aspersores. Todos o algunos de estos elementos pueden estar fijos en el campo, permanentes o solo durante la campaña

de riego. Además, también pueden ser completamente móviles y ser transportados desde un lugar a otro de la parcela. (Camejo y Duarte, 2009)

En las tres últimas décadas se han desarrollado con gran éxito las denominadas máquinas de riego que, basándose igualmente en la emisión de agua en forma de lluvia por medio de aspersores, los elementos de distribución del agua se desplazan sobre la parcela de manera automática. Aunque su precio es mayor, permiten una importante automatización del riego. (Cisneros Z., 2004)

Los sistemas de riego por aspersión se adaptan bastante bien a topografías ligeramente accidentadas, tanto con las tradicionales redes de tuberías como con las máquinas de riego. El consumo de agua es moderado y la eficiencia de uso bastante aceptable. Sin embargo, la aplicación del agua en forma de lluvia está bastante condicionada a las condiciones climáticas que se produzcan, en particular al viento, y a la aridez del clima, ya que, si las gotas generadas son muy pequeñas, en particular el viento, y a la aridez del clima (las gotas podrían desaparecer antes de tocar el suelo por la evaporación). (Rodríguez y Rey, 2007)

Son especialmente útiles para aplicar riegos relativamente ligeros con los que se pretende aportar algo de humedad al suelo en el periodo de nacencia o para aplicar riegos de socorro. También es muy indicado para efectuar el lavado de sales cuando sea necesario y se prestan a la aplicación de determinados productos fitosanitarios o abonos disueltos en el agua de riego, aunque no se puede considerar que sea una aplicación habitual. (Cisneros Z., 2004)

Dentro de los riegos por aspersión tenemos:

DE PRESIÓN MEDIA (de 2,5 a 4 atm).

Aspersión.

- Con el riego aéreo se realiza una limpieza de las plantas que en general dificulta el desarrollo de las plagas.

- Se crea un microclima húmedo que disminuye el riesgo de heladas y el rajado de frutos.
- No hay problemas en cuanto al tipo de suelos, ni de nivelaciones imperfectas, si el caudal es inferior a la velocidad de infiltración del suelo.
- No se puede emplear en zonas que haga viento.
- En cítricos retrasa el índice de madurez.

DE PEQUEÑA PRESIÓN (de 0,3 a 2 atm).

Microaspersión.

- Parecido al anterior, pero se puede evitar mojar las plantas. Trabaja a menor presión y por lo tanto los alcances son menores.
- Los efectos del viento son más exagerados.
- Cuando se riega todo el terreno crea un microclima húmedo como en el caso anterior.
- En horas de sol se produce una fuerte evaporación por lo que hay que incrementar la dosis en un 20-30%.
- No hay problemas de tipo de suelo, estando muy indicado en los arenosos.

Microchorro o Microjet.

- Derivado del anterior, emite el agua en pequeños chorros, que pueden abarcar una parte o todo un círculo.
- Se disminuye el efecto negativo del viento, pudiendo dirigir el chorro hacia abajo.
- Tiene menos pérdidas por evaporación que los anteriores.
- Es un riego localizado en bandas o zonas húmedas, por lo que está muy indicado en suelos arenosos.
- No crea un microclima húmedo tan marcado como en los casos anteriores.

Clasificación del riego por aspersión

Los dispositivos de riego por aspersión que se aplican actualmente se distinguen entre sí por las características siguientes:

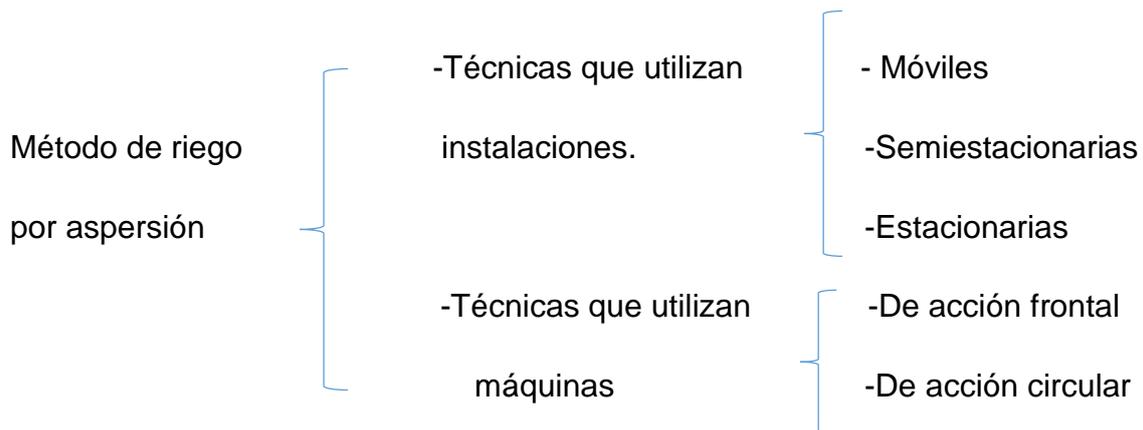
- Particularidades constructivas.
- Modo de aplicación.
- Magnitud de la carga suministrada al agua.
- Productividad del riego.

En general en función de estas características, las técnicas de riego por aspersión que existen actualmente se pueden dividir en dos técnicas básicas con el objetivo de estudiarlas mejor:

-Técnicas que utilizan equipos o instalaciones de riego por aspersión.

-Técnicas que utilizan máquinas de riego por aspersión.

El criterio fundamental en que se basa esta subdivisión es la presencia o ausencia de la tubería, dispuesta en forma subsuperficial o sobre el terreno, que transporta el agua desde la fuente de abasto hasta la superficie a regar, (Seguí *et al.*, 2006) clasificándose a su vez como se muestra en el siguiente esquema:



Ventajas:

-Permite regar terrenos de microrrelieves complejos con grandes ondulaciones y pendientes sin necesidad de efectuar la nivelación básica en el área a regar.

-No es necesario construir la red temporal de riego con sus zanjias y zanjillas, por lo que queda disponible para el cultivo casi la totalidad del área.

-Se puede adaptar a cualquier tipo de suelo en relación con su permeabilidad.

-Garantiza fácilmente el control del gasto de agua y la aplicación de la norma de riego.

-Ejerce una influencia beneficiosa sobre la fisiología del cultivo regado pues mejora la calidad del agua, debido a que las gotas durante su caída absorben el oxígeno y otros gases del aire, aumentando su poder disolvente sobre las sustancias químicas que se encuentran en el suelo. Por otra parte, la lluvia creada lava las hojas y facilita la absorción del anhídrido carbónico del aire.

-Permite la distribución de fertilizantes y pesticidas conjuntamente con el agua de riego.

-Garantiza una conservación adecuada de la estructura del suelo, no erosionándolo cuando se adecuan sus elementos de diseño.

-Asegura mejores condiciones para el trabajo de las máquinas agrícolas en función de la agrotecnia de los cultivos.

-Permite la operación del riego nocturno.

-Brinda posibilidades para la mecanización y la automatización completa del riego.

-Garantiza un mayor rendimiento en el aprovechamiento del agua.

Desventajas:

-Las inversiones iniciales de equipamiento y los costos de explotación son muy elevadas, ya que es necesario utilizar tuberías, accesorios, equipos de bombeo y aportar energía de presión.

-La influencia del viento en relación con la uniformidad del riego es un elemento negativo, por lo que no debe realizarse el riego con vientos fuertes.

-En el caso de algunas máquinas e instalaciones en cultivos polianuales la pérdida de área cultivable es mayor que en otros métodos de riego.

Máquina de riego por aspersión de pivote central

De este tipo de máquinas se han usado en Cuba pivotes eléctricos y los modelos soviéticos Kuban y Fregat. Estas últimas tienen varios modelos denominados por las siglas DM y DMY, que se emplean en el riego de viandas, hortalizas, pastos, forrajes, granos y otros cultivos con altura inferior a 2,2m. En Cuba se han elevado a 4,0m para utilizarlas en caña de azúcar y plátano y comenzó su producción en el país. Constan de una tubería distribuidora galvanizada, con longitud y diámetro variable, instalada sobre múltiples torres de apoyo autopropulsadas a una altura de 2,2m, realiza el riego en movimiento y de forma circular en torno a un punto llamado pivote en el sentido de las manecillas del reloj. Los datos que aquí se ofrecen son para máquinas con 2,2m de altura sin modificaciones. (Seguí *et al.*, 2006)

La máquina es accionada y controlada por un sistema hidromecánico instalada en cada torre de apoyo, la cual, un cilindro hidráulico entrega la energía para que otros dispositivos mecánicos muevan las ruedas metálicas de la torre, las cuales son impulsadas por la acción de la carga de agua de la tubería principal. Estas máquinas están equipadas con un sistema de sincronización que controla la flexión de la tubería distribuidora en el plano horizontal y regula el consumo de agua en cada torre. Al producirse una flexión inadmisibles de la tubería, el dispositivo protector hace parar las torres que se han adelantado hasta que se restablezca la alineación adecuada con respecto a las torres que se atrasaron, manteniendo siempre las torres en una línea recta.

Sobre la tubería van acoplados cinco tipos de aspersores de baja y media presión, los cuatro tipos primeros de acción circular y el último sectorial. La velocidad de movimiento de la máquina está determinada por la velocidad que se define en la última torre de apoyo. Las máquinas Fregat que se utilizan se pueden clasificar en tres versiones, cada una con diferentes modelos. (Seguí *et al.*, 2006)

La primera versión son los modelos DM que se caracterizan por tener en la estructura todas las secciones rígidas, lo cual limita su utilización en áreas de

topografía accidentada disponiendo de 12 a 16 torres con longitudes de tuberías de 335 a 454m con diámetros de 152,4 y 177,8m.

La segunda versión son los modelos DMY-A que se caracterizan por disponer de secciones flexibles para explorar en áreas de topografía accidentada y cuentan con 7 a 15 torres de longitudes de tubería de 199 a 417m, y un solo diámetro de 152,4mm.

La tercera versión es la de los modelos DMY-B que se caracterizan por disponer también de secciones flexibles, pero cuentan con 13 a 20 torres con longitudes de 379 a 572m, con diámetro variable de tubería: 177,8mm en el 60% de la longitud inicial y el resto con diámetro de 152,4mm.

La fuente de abasto de agua a la maquina puede ser subterránea o superficial, situada fuera o dentro del área de riego por medio de tuberías o canales.

1.1.4 Riego por Nebulización

Los nebulizadores producen niebla fina, el agua a presión sale por un orificio de pequeño diámetro, de forma que el chorro producido se estrella contra una pared cóncava que lo despide y distribuye en forma nebulizada. Estos sistemas suelen trabajar con presiones relativamente elevadas, en torno a 2-4 bares.

Aplicaciones y uso:

Su uso puede realizarse para múltiples aplicaciones:

- Aumentar la humedad relativa de un invernadero.
- Para refrigerar el invernadero combinado con un sistema de ventilación forzada.
- Para aplicar tratamientos automatizados como la aplicación de abonos foliares, fitosanitarios, o cualquier otro producto soluble en agua.
- Efectuar el riego por nebulización

Estos sistemas pueden ajustar los caudales y el tamaño de gota cambiando la boquilla, para realizar un uso u otro según las necesidades de la producción. Regulando las presiones de agua en el cabezal también se consigue el mismo

objetivo, adaptándose la aplicación a la realización humidificación, refrigeración, riego y/o aplicación de abonos o fitosanitarios(Reynoso, 1982).

Se utiliza, principalmente, en el riego de semilleros e invernaderos.

Partes de la Instalación:

- Grupo de bombeo: para suministrar la presión y el caudal adecuado a la instalación.
- Filtración: debe tener un espesor de filtración que garantice que las boquillas no se obstruyan.
- Sistema de aplicación de productos solubles en agua
- Red de tuberías.
- Nebulizadores.

1.1.5 Riego por gravedad

Los flujos pueden llegar de muchas maneras (cuencas, canales, bordes, etc.) cuya característica común es que el agua llega a cierto punto de la parcela y desde allí se mueve superficialmente al resto, el riego superficial había sido el único método utilizado y aún es el más utilizado. Si bien tiene desventajas importantes, como baja eficiencia en la utilización del agua, necesidad de nivelar el terreno, dificultades para aplicar volúmenes correctos con la frecuencia adecuada, y elevada demanda de mano de obra, se espera que continúe siendo de lejos el método más comúnmente utilizado (Córdova, 2013).

El riego por gravedad es la técnica de riego más antigua y que más ampliamente ha aplicado el hombre a nivel mundial. Para superar las limitaciones que tradicionalmente ha tenido esta técnica de riego como son pérdidas de agua por percolación profunda y escurrimiento superficial y situarla al nivel de otras técnicas de riego de elevado desarrollo tecnológico (riego por aspersión y localizado), se debe comenzar por determinar los elementos fundamentales del diseño y la operación de los sistemas de riego por gravedad, con arreglo a las condiciones concretas de suelo y topografía, lo cual debe posibilitar la elevación de la eficiencia de dichos sistemas de riego. En Cuba el riego por gravedad en el cultivo de la caña de azúcar representa el 51.00 % de las áreas beneficiadas con riego

(MINAZ, 1998), es por ello que se hace necesario lograr una organización eficiente de las áreas que se riegan con dicha técnica, sobre bases científico técnicas(Córdova, 2013).

Para lograr lo anterior es importante tener en cuenta la aplicación de criterios de manejo en el riego por gravedad como son:

1. Conformación de los surcos guías de riego.
2. Manejo adecuado de los residuos de cosecha (paja de caña).
3. Formas de entrega del agua.
4. Elementos de diseño de la técnica de riego.

1.2 Problemática general del uso del agua para la agricultura y su particularidad en cuba

Atendiendo a que cerca del 70 por ciento del agua disponible de Cuba se utiliza para todo el sistema de la agricultura, situándolo como el mayor consumidor de la isla, tanto en el Ministerio de la Agricultura como en el Grupo de Dirección Superior Azucarero se adoptan medidas para hacer un uso racional y eficiente del preciado líquido(Reynoso, 1982).

En una conversación sostenida con la directora de investigaciones del Instituto de Ingeniería Agrícola, doctora Teresa López Seijas, conocimos que desde la base se han hecho estimados acerca del uso de agua en cada uno de los cultivos.

Aun cuando los mayores consumidores son el arroz, la papa y alguna que otra hortaliza, donde también se producen gastos innecesarios; en algunos casos por el uso indebido y en otros por la mala situación de los sistemas de riego, abandonados en los últimos años en el mantenimiento y reposición de equipos, por carencias financieras, hay que decir en honor a la verdad que ya hoy comienzan a tener una atención priorizada (González Baucells, 2004).

Únicamente el cuatro por ciento del área cultivable está bajo riego, de manera que no es proporcional con el incremento en el uso del agua para el sistema de la

agricultura en los últimos años, además el factor humano, en opinión de la especialista, es decisivo, pues también ha sufrido afectaciones el personal técnico, que ha disminuido considerablemente y ahora se trata de estabilizar en todo el país, pues la fuerza técnica es decisiva para lograr tales propósitos. Ahorrar y hacer un uso eficiente del agua más que una necesidad es un imperativo, si tenemos en cuenta que la provisión del insustituible líquido es un problema grave en el planeta, toda vez que el 97 por ciento de su volumen se encuentra en el mar y es salada, que el 2 por ciento está congelada y únicamente el 1 por ciento es dulce y está distribuida en lagos y ríos (González Baucells, 2004).

Otro dato a tener en cuenta es que la tierra contiene unos 525 millones de kilómetros cúbicos de agua y que la cantidad de agua en el mundo no ha disminuido ni aumentado en los últimos 2 millones de años, lo cual nos obliga a cuidar y usar el agua en las cantidades estrictamente necesarias, toda vez que es un recurso finito, y por tanto pone en peligro la existencia de la vida en el globo terráqueo.

No por gusto el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros de Cuba acordó y aprobó la política a seguir en el uso eficiente y racional del agua disponible, toda vez que la principal fuente de abasto de la nación son las precipitaciones, por lo que absolutamente nadie puede derrochar algo que compromete al país y es por ello que además del llamado se han concebido penalizaciones a quienes no actúen conforme a lo establecido (González Baucells, 2004).

1.3 El riego en Cuba y las cuencas hidrográficas.

La agricultura cubana es atendida por dos ministerios: Agricultura (MINAGRI) y del Azúcar (MINAZ). Cada año se planifican las asignaciones a los usuarios a partir de los planes económicos de estos y de las disponibilidades de agua. Se establecen las prioridades correspondientes. El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) es el dueño del agua, y el MINAGRI y MINAZ los principales usuarios. Existen 700 obras de control de entregas a los usuarios, donde se mide 85% del total de las entregas. El proceso de planificación y control del uso del agua se realiza en las Unidades Económicas Básicas (UEB), estructura de base

del INRH, que divide al territorio en 36 unidades o entidades territoriales. La UEB es la entidad que controla objetos de agua y estructuras tales como cuencas hidrológicas, obras hidráulicas de captación, conducción y de protección contra inundaciones, de recarga del manto subterráneo y de redes de observación del ciclo hidrológico (Davitaya, 1965.).

El total de agua disponible en riego para todo el país es de 18,249.5.106 m³/ año (76% del potencial aprovechable). Si hoy se utilizan en el riego 92,99.5.106 m³, ello representa 50.96% de ese total y 70% del volumen total que se explota actualmente (13,285. 106 m³). La superficie regable de Cuba se estima en 2.7.106 ha (27,000 km²) a partir de considerar los siguientes factores: potencial hidráulico del país, requerimientos hídricos de los cultivos y nivel de eficiencia de las actuales técnicas de riego existentes en el país. Un aumento de la superficie regable sólo es posible con el incremento en la eficiencia del regadío mediante la reconstrucción y modernización de los sistemas de riego existentes y los nuevos por construir. Actualmente existen 84,2502 ha (8,425 km²) bajo riego, 22.80% de la superficie cultivada y 31.2% del área total regable. Las técnicas de riego más generalizadas en Cuba son: riego por superficie aspersion (incluye máquinas de riego) y localizado (micro jet y goteo) (Piedra).

1.4 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(Sela, 2017).

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 (Cid *et al.*, 2009).

La ET puede medirse directamente con lisímetros, e indirectamente, con métodos micros 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.

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc).

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

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 (Sela, 2017).

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 (Cid *et al.*, 2009).

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 (Diaz *et al.*, 2008).

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 ETc. 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 (total de agua disponible en la zona radicular del suelo) que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico es denominada agua fácilmente aprovechable en el suelo (AFA) (Pacheco, 2006).

El agua fácilmente aprovechable de la zona radicular del suelo (AFA) va a ser igual a la 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].

1.5 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.

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 (Reynoso, 1982).

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. (Cid *et al.*, 2009)

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.

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. (González *et al.*, 2015a)

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.

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 (WPI), y el agua total (WPT).

La productividad del agua aplicada por riego en los cultivos (WPI) 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 (González *et al.*, 2015a).

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en los meses de enero a marzo del año 2019 en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines en la provincia de Villa Clara con el fin de evaluar uno de los sistemas de riego utilizados en dicha entidad, en este caso será evaluado el riego 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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines

La caracterización de los sistemas de riego utilizados en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines 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 la entidad, 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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines

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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines. 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

$$WPI (kg/m^3) = R(kg/ha) / I(m^3/ha) \quad (1)$$

Donde:

WPI - 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

$$WPT(\text{kg}/\text{m}^3) = R(\text{kg}/\text{ha}) / T(\text{m}^3/\text{ha}) \quad (2)$$

Donde:

WPT - 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

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 la UEB Integral Quemado de Güines. 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 2.2.1 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 2.2.2 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 2.2.1 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.

Tabla 2.2.1 Determinación del coeficiente m_1

Características de los Suelos	Pendiente del terreno								
	Menor que 0,01			0,01 – 0,05			Mayor que 0,5		
	Precipitaciones mensuales en (mm)								
	Menor de 40	40-100	Mayor de 100	Menor de 40	40-100	Mayor de 100	Menor de 40	40-100	Mayor de 100
I. Amarillo podsolizado graviloso arenoso.	0.90	0.85	0.80	0.85	0.80	0.75	0.80	0.75	0.70
II. Lateritas loamosas arcillas de sabana.	0.85	0.80	0.75	0.80	0.75	0.76	0.75	0.70	0.60
III. Tonalidad roja lixiviada.	0.80	0.75	0.70	0.75	0.65	0.55	0.65	0.55	0.40
IV. Pardos húmicos carbonatados.	0.77	0.72	0.67	0.72	0.62	0.52	0.62	0.52	0.37
V. Cenagosos turbosos y margosos.	0.77	0.72	0.67	0.72	0.62	0.50	0.62	0.52	0.37
VI. Amarillos podsolizados arcillosos sobre arcilla.	0.77	0.72	0.67	0.72	0.62	0.52	0.62	0.52	0.37
VII. Negros grises Compactos de gley.	0.77	0.70	0.60	0.70	0.60	0.40	0.50	0.50	0.25

Tabla 2.2.2 Determinación del coeficiente m_2

Categorías de los de los suelos según la tabla 2.1		I		II		III		IV y V		VI		VII							
Lluvias en Milímetros.	40-100		40-100		40-100		40-100		40-100		40-100								
	-40	+100	-40	+100	-40	+100	-40	+100	-40	+100	-40	+100							
Profundidad radicular en (m)	0.2	1	0.8	0.7	1	1.8	0.7	1	0.9	0.8	1	0.8	0.7	1	1	0.8	1	0.8	0.7
	0.4	1	0.9	0.8	1	0.9	0.8	1	1	0.8	1	0.9	0.8	1	1	0.9	1	0.9	0.8
	0.6	1	1	0.9	1	1	0.9	1	1	1	1	1	0.9	1	1	1	1	1	1
	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

RESULTADO Y DISCUSIÓN

CAPITULO 3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la empresa

La UEB Integral Agropecuaria se encuentra ubicada en el Municipio de Quemado de Güines y Sagua La Grande cuenta con una superficie agrícola total de 12563 ha de ellas estatal 5398.1 ha que representa el 43 %, contando con una área para cultivos varios de 5282.2 ha donde el estado posee un área de 1811.2 ha para el 34 %, siendo sus principales producciones las viandas, granos, hortalizas y frutales destacándose con mayor incidencias las producciones pecuarias en el sector privado. Cuenta con un programa de desarrollo basado en procesos inversionistas para el rescate de las tecnologías de riego en el fomento del plátano fruta, así como las máquinas de riego para la producción de granos y viandas donde las áreas estatales mostrarán un mayor impacto en el desarrollo productivo. Logrando con esto el autoabastecimiento del municipio Quemado de Güines, continuar siendo un municipio exportador para ayudar al abastecimiento de otros municipios de la provincia y el país, y cumplir con los contratos con el turismo.

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 la UEB Integral Agropecuaria en el Municipio de Quemado de Güines. Bajo la máquina eléctrica de pivote central que le será realizado el estudio se encuentra sembrado en cuatro cuadrantes, y con un área de 6.22 ha los cultivos de, boniato, frijoles, plátano vianda y otro que está destinado a la siembra de plátano vianda, en el caso de este no se le realizará ningún estudio ya que aún no se ha obtenido ninguna producción por lo que no se conoce su rendimiento agrícola, además que tampoco se conoce la cantidad de agua aplicada.

Tabla 3.1 Características de la máquina de riego de pivote central eléctrica ubicada en la UEB Integral Agropecuaria en el Municipio de Quemado de Güines.

Máquina	Marc	No. de torres	No.de surtidores	Longitud (m)	Eficiencia de diseño (%)	Área Regada (ha)	Caudal (ls)	Presión (bar)
Pivote Central	EMBA	5	150	280.5	90	24.9	2.60	2.5



Figura 1. Máquina de riego pivote central eléctrica.

3.2. Resultados del cálculo la eficiencia del uso del agua de riego en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines.

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 UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines. 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 los cultivos.

Plantación	Agua riego aplicada m³/ha	Area sembrada ha	Producción kg/ha	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Boniato	866	6.22	12000	1/12/18	8/3/19
Calabaza	4500	6.22	12000	1/10/18	2/12/18
Boniato	866	6.22	14000	3/10/17	10/1/18
Frijoles	3750	6.22	1500	5/10/18	12/1/19
Frijoles	3750	6.22	1800	29/1/19	30/4/19

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 la misma cantidad de agua aplicada.

En la gráfica se muestra que en el caso de los cultivos que coinciden la misma cantidad de agua aplicada por la máquina, existe un incremento del rendimiento agrícola de 2000kg/ha, esto ocurre en el caso de la segunda siembra de boniato sobre la primera, y en el frijol ocurre lo mismo lo que con una diferencia de rendimiento agrícola de 300kg/ha.

La afectación que produce la falta de agua al rendimiento final dependerá en gran medida del cultivo, período vegetativo en el cual se produce y de la magnitud del déficit. El manejo de la relación agua rendimiento permitirá tomar decisiones cuando se tienen plantados varios cultivos y debe decidirse a cual priorizar el agua, puesto que no alcanzaría para un suministro completo a todos ellos (Camejo y Duarte, 2002).

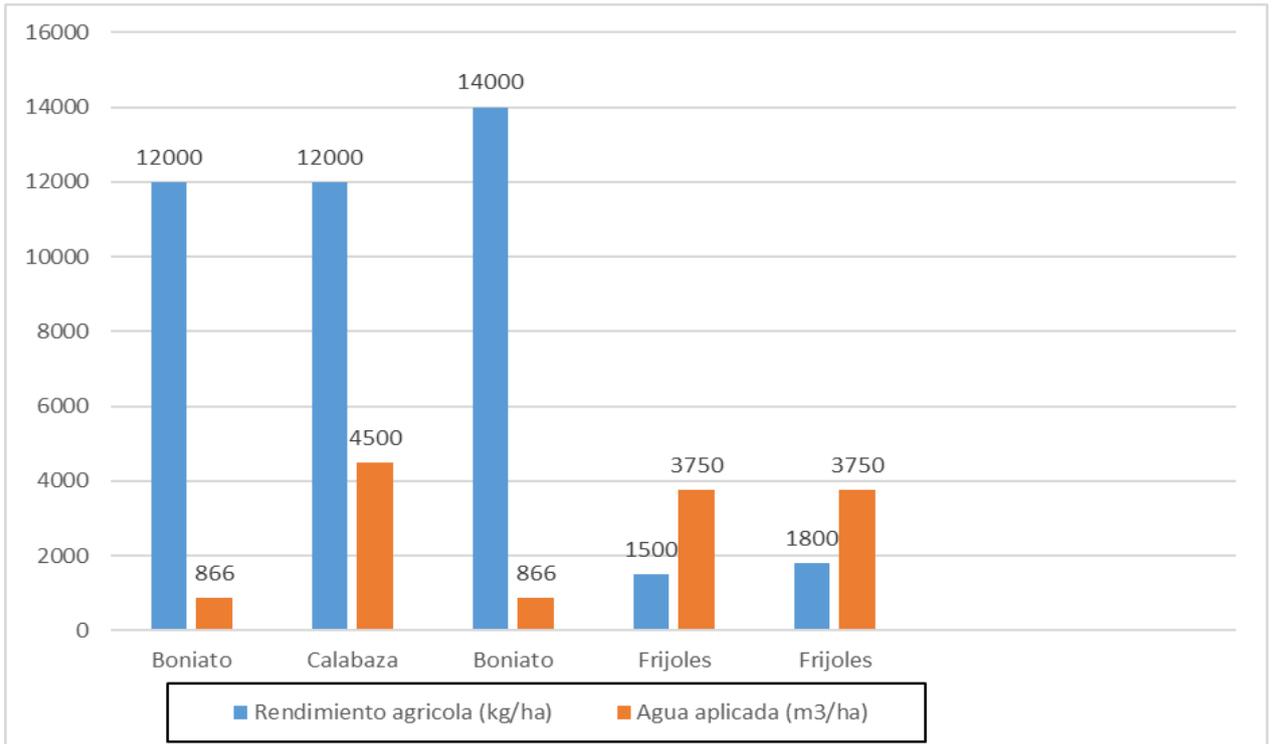


Figura 2. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua aplicada por riego (I) para todos los cultivos.

La Tabla 3.3. 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 191.73 a 406.89 m³/ha debido a la lluvia en el cultivo del boniato y en el frijol se refleja un aumento de 180.6 a 219.42 m³/ha.

Tabla 3.3. Precipitaciones en el período, agua aplicada al cultivo, precipitaciones efectivas y agua total aplicada a los cultivos

Cultivo	I (m ³ /ha)	P (mm)	Pe (m ³ /ha)	T (m ³ /ha)
Boniato	866	340.8	191.73	1057.73
Calabaza	4500	134.3	87.8	4587.8
Boniato	866	729.6	406.89	1272.89
Frijoles	3750	345.2	180.6	3930.6
Frijoles	3750	407.5	219.42	3969.42

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.

El cultivo del boniato muestra un incremento del rendimiento agrícola de 2000 kg/ha con una diferencia en el aumento de agua total aplicada de 215.16 m³/ha. Los rendimientos del cultivo del boniato en Cuba han fluctuado desde 1970 hasta 1995 entre 3000 y 5000 kg/ha. Sin embargo, después del año 1996, a partir de la introducción de clones mejorados y un mejor manejo, comenzó una recuperación en el cultivo que ha permitido incrementar los mismos por encima de 8000 kg/ha, lo que significa haber duplicado la producción del país (Rodríguez, 2011). En comparación, en este trabajo se observa un rendimiento de 12000 y 14000 kg/ha, lo que es un resultado muy superior al expuesto anteriormente.

El cultivo del frijol mantiene también un incremento del rendimiento de 300 kg/ha con un aumento del agua total aplicada de 38.82 m³/ha, lo que demuestra que las precipitaciones acumuladas durante la etapa reproductiva de este cultivo juegan un papel fundamental en el aumento del rendimiento agrícola, en años con precipitaciones irregulares, por debajo de las necesidades del cultivo, los rendimientos bajan drásticamente, especialmente si coinciden con la floración y el llenado de las vainas del cultivo. (Boudet *et al.*, 2013)

La calabaza con una cantidad de agua aplicada de 4587.8m³/ha obtuvo un rendimiento agrícola de 12000kg/ha.

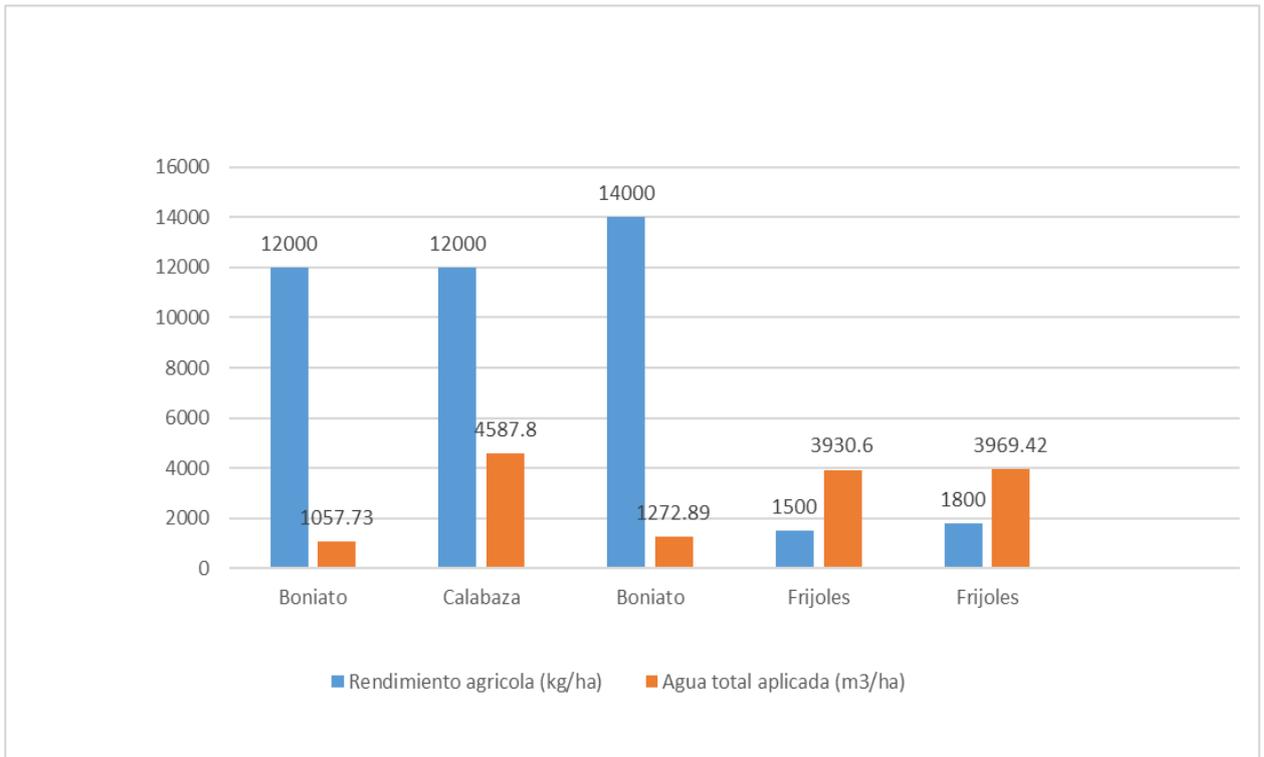


Figura 3. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua total aplicada al cultivo (T), para todos los cultivos.

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 4126.1 m³/ha lo cual indica que existe un exceso del uso del agua aplicada de 1126.1 m³/ha por eso decimos que no se realizó un uso eficiente del agua aplicada lo cual se muestra en la Tabla 3.4. Otros trabajos realizados sobre el uso del agua en el cultivo del frijol han mostrado un consumo de agua similar al presentado aquí (Gonzales *et al.*, 2017), en ambos casos no se alcanzó la norma propuesta por (Duarte *et al.*, 2015)

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 1400,8 m³/ha lo que nos muestra que no se alcanzó la norma neta de agua de riego con una diferencia de 3247,2 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.

El cultivo de la calabaza la norma neta del agua de riego es de 2100m³/ha (Duarte *et al.*, 2015) y en los datos tomados se observa que el valor del agua aplicada es de 4634.3 m³/ha lo que nos muestra que superó la norma neta de agua de riego con una diferencia de 2534 m³/ha.

Tabla 3.4 Normas netas de agua de riego para Villa Clara y el agua aplicada al cultivo.

Cultivos	Normas netas de agua de riego en Villa Clara (m ³ /ha)	Promedio de agua aplicada al cultivo (m ³ /ha)
Boniato	4648	1400.8
Plátano	1177	765
Calabaza	2100	4634.3
Frijoles	3000	4126.1

La Tabla 3.5 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 3.5 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	WPI (kg/m ³)	WPT (kg/m ³)
Boniato	191.73	12000	1057.73	13.8	9.42
Calabaza	87.8	12000	4587.8	2.6	2.6
Boniato	406.89	14000	1272.89	16.16	13
Frijoles	180.6	1500	3930.6	0.40	0.38
Frijoles	219.42	1800	3969.42	0.48	0.45

La relación entre el agua aplicada por riego y la productividad del agua total se muestra en la Figura 4 y 5. En esta se observa un crecimiento de la productividad del agua total con un incremento del agua aplicada por riego. Al analizar los valores de las productividades del agua total encontramos que mejora los valores de la eficiencia en el uso de la misma, dado que el incremento del uso del agua provoca una mejor productividad, lo que conyeva a obtener una mejor producción y con mayor eficiencia, así concluimos que la empresa ha mejorado el uso del agua en los cultivos analizados, aunque en el caso de los frijoles la productividad del agua aplicada por riego fue inferior a las reportadas en la literatura (González *et al.*, 2015b), al igual que el rendimiento agrícola, por lo que no se hace un uso eficiente del agua en este cultivo.

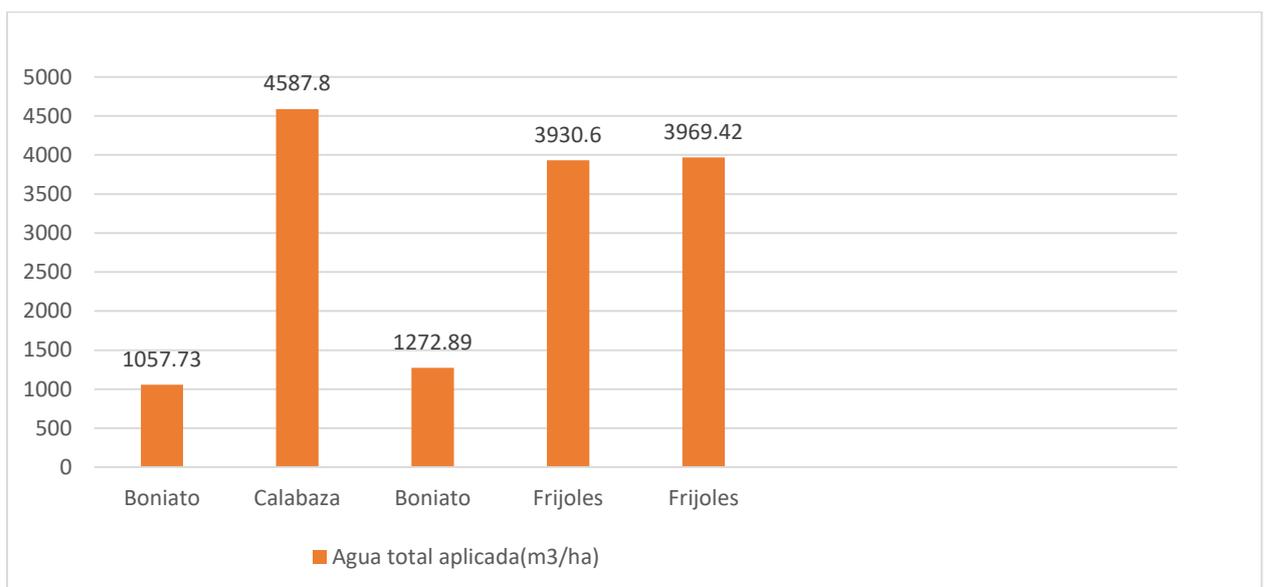


Figura 4. Agua total aplicada (T) para todos los cultivos.

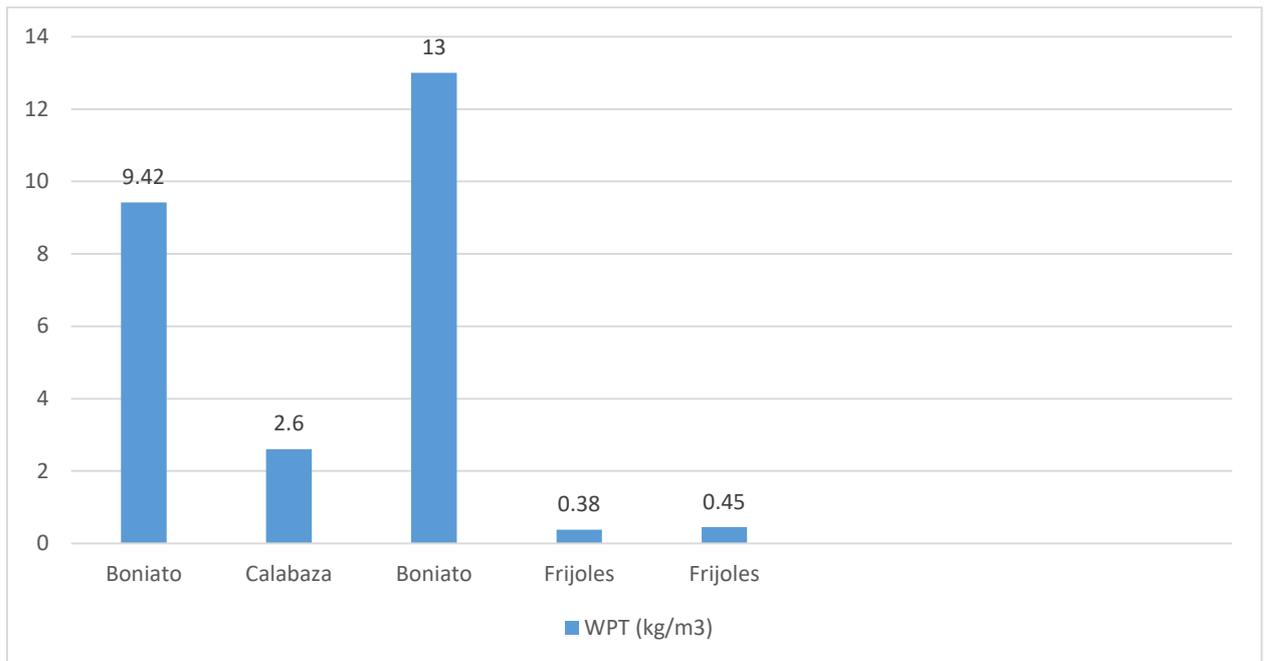


Figura 5. Productividad total del agua (WPT) para todos los cultivos.

La relación entre el agua aplicada total y el rendimiento agrícola del cultivo del boniato se muestra en la Figura 6. Aquí se aprecia un incremento del rendimiento agrícola del cultivo con un incremento del agua aplicada total. Esto nos lleva a concluir que si en un futuro se desea obtener un mejor rendimiento de este cultivo se debe incrementar el uso del agua aplicada. 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 y 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.

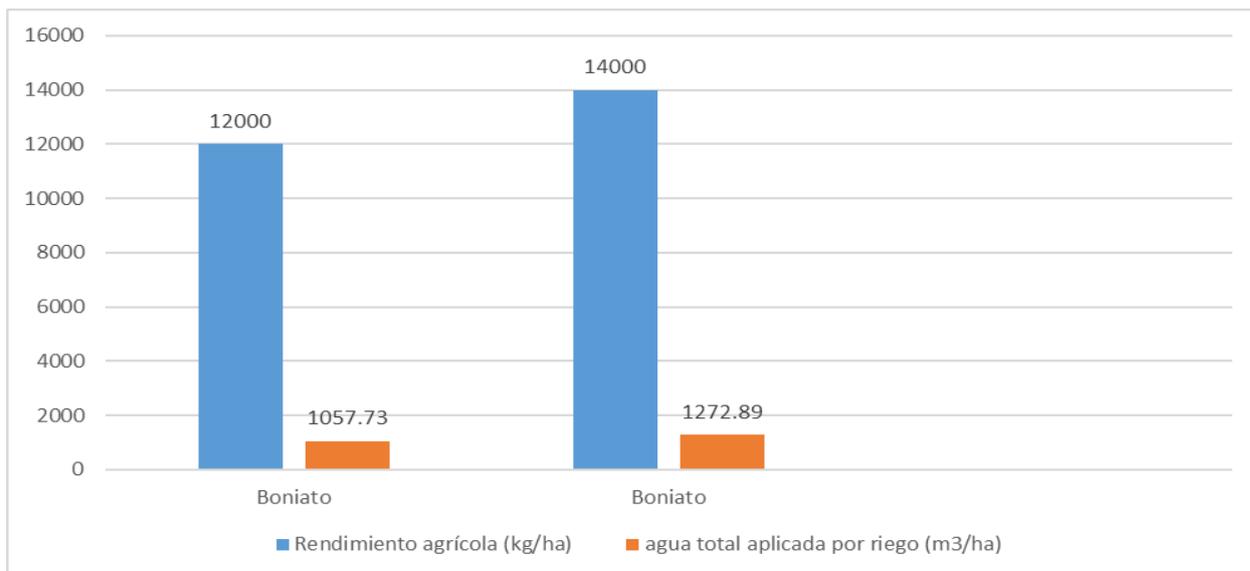


Figura 6. Relación entre el rendimiento (R) y el agua total aplicada por riego (T) para el boniato

La relación entre la productividad del agua y el agua aplicada por riego se muestra en la Figura 7 y 8. Aquí se aprecia un crecimiento de la productividad del agua con una igual cantidad de agua aplicada por riego en los cultivos analizados. En el caso del boniato se observa una mejor productividad de agua que la observada en la literatura (González *et al.*, 2015b), con una diferencia de 5.4 y 7.76 (kg/m^3) respectivamente, pero en los frijoles ocurre lo contrario, es menor la productividad de agua que la expuesta por (González *et al.*, 2015b), con una diferencia de 0.4 y 0.32 (kg/m^3). Así concluimos que la empresa realizó un mejor uso del agua en el cultivo del boniato que en el del frijol.

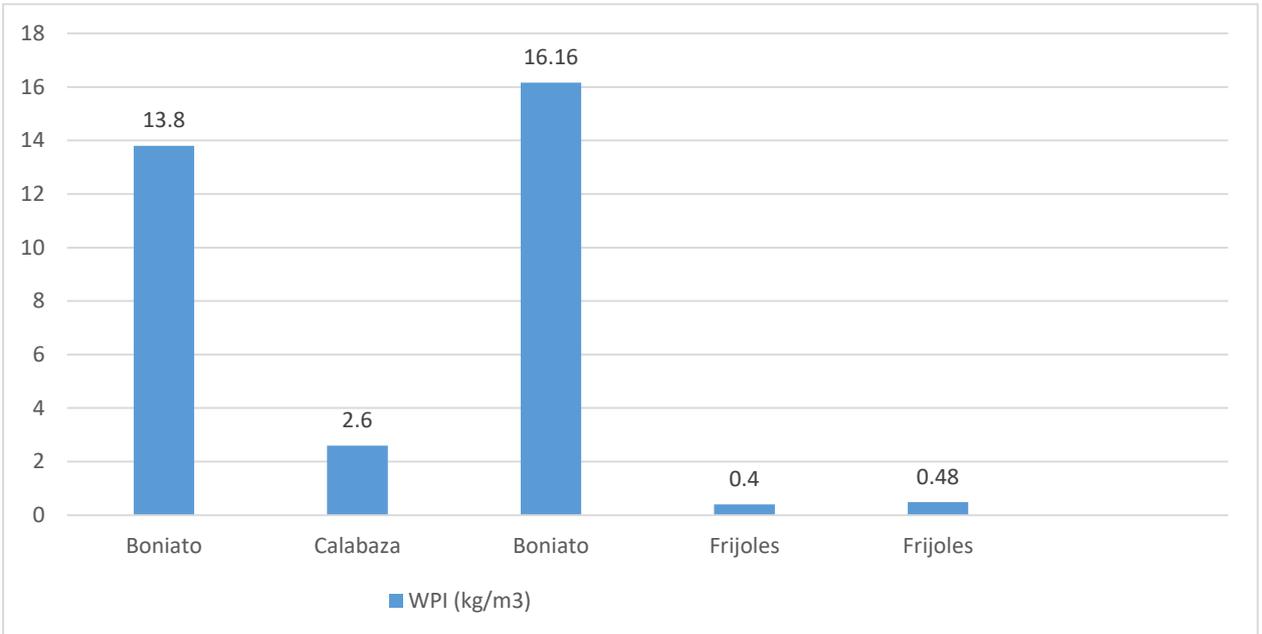


Figura 7. Productividad del agua (WPI) para todos los cultivos.

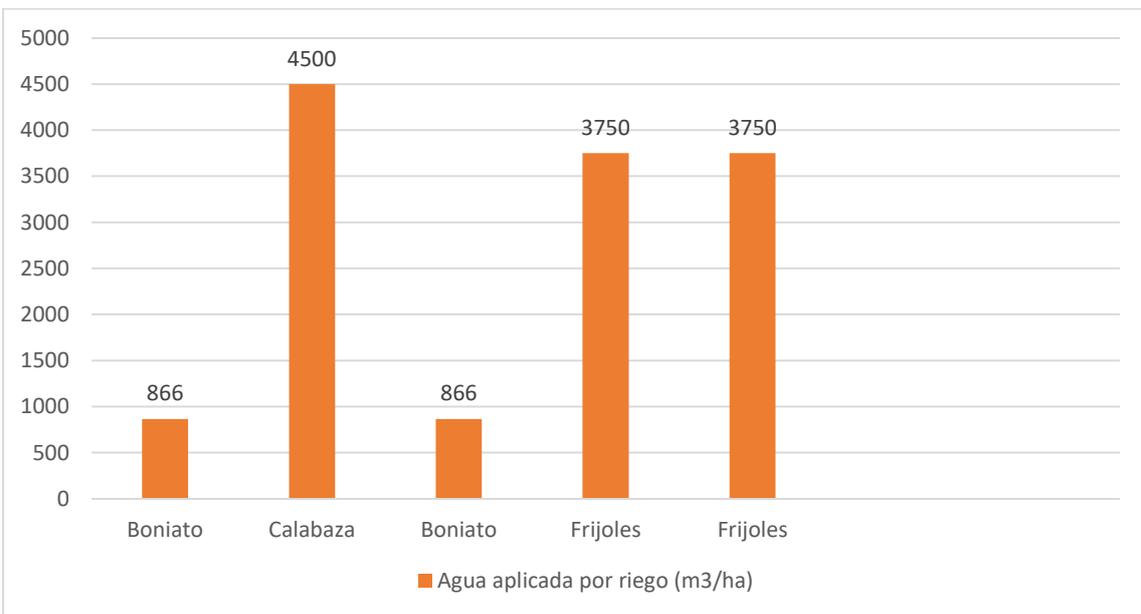


Figura 8. Agua aplicada por riego (I) para todos los cultivos.

La relación entre la productividad del agua y el agua aplicada por riego en el cultivo del boniato se muestra en la Figura 9. Aquí se aprecia un aumento de la productividad del agua con una igual cantidad de agua aplicada por riego. Esto se debe a que en el período de siembra del segundo boniato hubo mayor

cantidad de precipitaciones, por lo que el agua total aplicada fue mayor que en el caso anterior, por tanto hubo mayor rendimiento agrícola. El valor de la productividad del agua para un mismo cultivo es muy variable, así, con una misma cantidad de agua aplicada a un cultivo cualquiera y no limitante para obtener una producción máxima, la mayor producción obtenida será una función del factor que limite este rendimiento (ley del mínimo), y que puede variar en función de la adaptación del cultivo al medio donde se desarrolla, de la productividad del suelo, de los niveles de aplicación de fertilizantes, y también con la técnica de riego que se emplee (González *et al.*, 2015b).

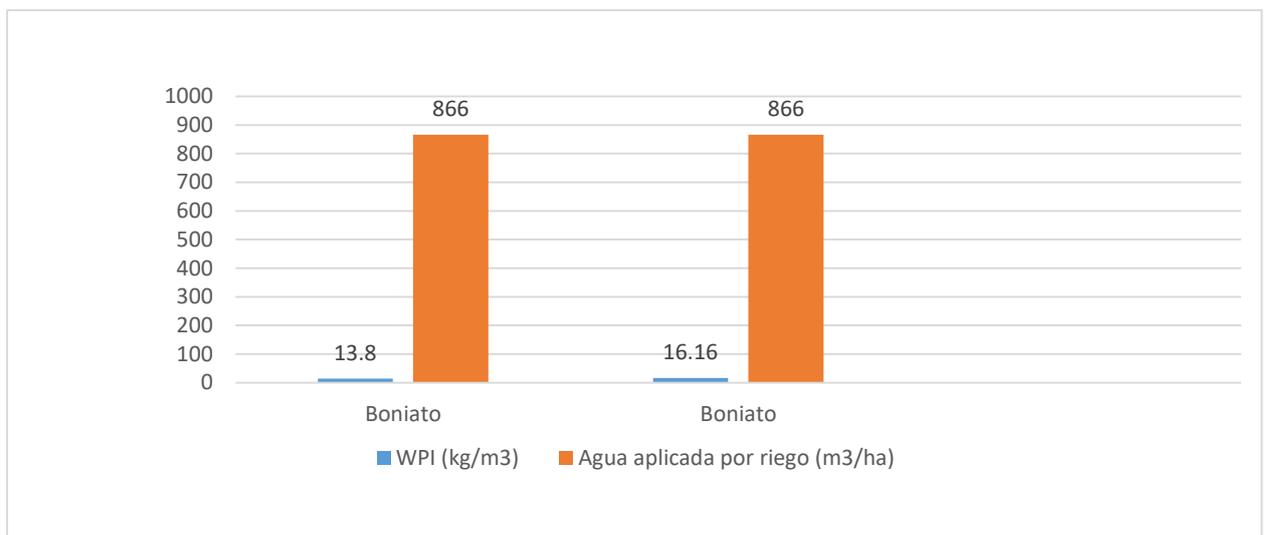


Figura 9. Relación entre la productividad del agua (WPI) y el agua aplicada por riego (I) para el boniato.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Se determinó la eficiencia en el uso del agua de riego en la UEB Integral Agropecuaria Quemado de Güines usando las funciones de productividad del agua de riego y productividad total del agua a partir de información disponible en la empresa.

En el cultivo del boniato 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 este cultivo.

En los cultivos calabaza 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 tener en cuenta las precipitaciones efectivas obtenidas del agua de lluvia durante la aplicación del riego a los cultivos, además de las normas establecidas para cada uno.

Bibliografía

- ALONSO, D.: *El riego por aspersión [en línea], vol. no.*
- BAUCELLS, G.; PEDRO; MÉNDEZ; A. MARCIAL: *Panorama del riego y el drenaje en Cuba.* La Habana, Cuba, pp. 2004.
- BOUDET, A.; T. BOICET; R. ODUARDO: *Rendimiento y sus componentes en variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) bajo condiciones de sequía en Río Cauto.* Granma, pp. 2013.
- CAMEJO, B.; L. DUARTE: "Las máquinas de riego y los cultivos Agrícolas": 2009.
- CAMEJO, L. E.; L. S. DUARTE: *Relación agua-rendimiento y manejo del riego en algunos de los principales cultivos de la zona central de Cuba.* Ciego de Avila, pp. 2002.
- CID, G.; J. HERRERA; T. L. "Elementos a considerar en la proyección de sistemas de riego en suelos con tendencia al sobre humedecimiento y la salinización en Cuba", Ed., 2009.
- CISNEROS Z., E. M. F., MARCIAL; CHONG P., CARMELO: *Nuevos enfoques sobre el riego por aspersión de baja intensidad en la agricultura cubana.* La Habana, Cuba, pp. 2004.
- CÓRDOVA, F.: *Principios Fundamentales del riego por gravedad en el cultivo de caña de azúcar [en línea], vol. no.*
- DAVITAYA, F. F.: *Los recursos climáticos de Cuba, Ed., 1965.*
- DIAZ, T.; N. PEREZ; L. PARTIDAS; Y. SUAREZ. "Manejo sostenible del agua en zonas semiáridas: evaluación de dos técnicas de riego y fertilización nitrogenada en Sinaloa, México", Ed., 2008.
- DUARTE, C.; J. HERRERA; T. LOPEZ; F. GONZÁLEZ; E. ZAMORA: *Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba.* pp. 46-51. 2015.
- GONZALES, O.; B. ABREU; M. HERRERA; E. LÓPEZ: *Water Use for Bean Irrigation on Eutric Cambisol Soils.* pp. 70-77. 2017.
- GÓNZALEZ BAUCELLS, P. M., MARCIAL A.: *Panorama del riego y drenaje en Cuba.* La Habana, Cuba, pp. 2004.
- GONZÁLEZ, F.; T. LÓPEZ; J. HERRERA: *Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba.* La Habana, Cuba, pp. 2015a.
- GONZÁLEZ, F.; T. LÓPEZ; J. HERRERA: *Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. Ciencias Técnicas Agropecuarias.* La Habana, pp. 57-63. 2015b.
- HOWELL, T. A.; D. SCHNEIDER; R. EVETT: *Subsurface and surface microirrigation of corn Southern High Plains, Transaction of the ASAE.* pp. 1997.
- MARTINEZ, M. A.: *Tecnologías para el uso sostenible del agua [en línea], vol. no. Tegucigalpa, M.D.C, Honduras.*
- ONEI: *ANUARIO ESTADISTICO DE CUBA 2016.* pp. 2017.
- PACHECO, J.: *Riego y Drenaje, Ed., La Habana, 2006.*
- PACHECO, J.; N. ALONSO; P. PUJOL; B. CAMEJO. *Riego y Drenaje, Ed. Pueblo y educación, Ciudad de la Habana,*
- PIEDRA, J. I. G.: *El manejo de cuencas en Cuba [en línea], vol. no.*
- REYNOSO, A. R.: *El pronóstico del riego en Cuba., Ed., 1982.*
- RODRIGUEZ, M.; R. REY. *Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano el empleo del minia aspersor Mamkad 2255 pruebas de campo., Ed., 2007.*

- RODRIGUEZ, M.; R. REY; O. SARMIENTO. *Influencia del riego por goteo superficial y subterráneo sobre la distribución radical del banano*, Ed., 2005.
- RODRÍGUEZ, S.: *La producción de alimentos. Un reto inaplazable*. Palacio de Convenciones, pp. 2011.
- SANTOS, L.; J. A. JUAN; M. R. PICORNELL; J. TARJUELO: [en línea], vol. no. Lisboa. Portugal.
- SEGUÍ, J. P.; N. ALONSO; P. PUJOL; E. CAMEJO. *Riego y Drenaje*, Ed., La Habana, 2006.
- SELA, G.: *Las necesidades hídricas de los cultivos* [en línea], vol. no.
- ZWART, S. J.; W. M. BSTIAANSSEN: *Review of measured crop water productivity values of irrigated wheat, rice, cotton and maize*, Agricultural water Management., pp. 2004.

Anexos

Anexos:

Aplicación de Agua Profundidad por Revolución.

Aplicacion de Agua(mm)	Configuracion Cronometro %	Velocidad Ultima torre (m/min)	Tiempo por Revolucion(h)
5.60	100.0	2.38	12.10
6.23	90.0	2.14	13.44
7.00	80.0	1.90	15.12
8.00	70.0	1.67	17.28
8.62	65.0	1.55	18.61
9.34	60.0	1.43	20.16
10.19	55.0	1.31	22.00
11.21	50.0	1.19	24.20
12.45	45.0	1.07	26.89
14.01	40.0	0.95	30.25
16.01	35.0	0.83	34.57
18.68	30.0	0.71	40.33
22.41	25.0	0.60	48.40
28.02	20.0	0.48	60.49
37.36	15.0	0.36	80.66
46.69	12.0	0.29	100.82
62.26	9.0	0.21	134.43
93.39	6.0	0.14	201.65
186.78	3.0	0.07	403.30