

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Departamento de
Ingeniería Agrícola

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Determinación de la productividad del agua para el riego con
máquinas de pivote central**

Autor: Elvis Rivero Pérez

Tutor: Dr.C. Elvis López Bravo

Santa Clara
Copyright©UCLV , 2023

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

Academic Department of
Agricultural Engineering

DIPLOMA THESIS

**Title: Determination of water productivity for irrigation with
center pivot machines**

Author: Elvis Rivero Pérez

Thesis Director: Dr.C. Elvis López Bravo

Santa Clara
Copyright©UCLV,2023

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



ACTA DE CONFORMIDAD PARA ESTUDIANTES DE PREGRADO

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Porunaparte: Elvis Rivero Pérez estudiante de la carrera de: Ingeniería Agrícola en la facultad de: Ciencias Agropecuarias, en lo adelante **EI ESTUDIANTE**. Con número de identidad permanente: 00012277009 Y por otra parte: Laura García Pedraza, Jefe del Departamento Docente de: Ingeniería Agrícola en la ya mencionada facultad, en lo adelante **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**, y Elvis López Bravo, de tuturar el Trabajo de Diploma **DEL ESTUDIANTE**, en lo adelante **EL TUTOR**. Reconocen que:

- I. A **EL ESTUDIANTE** se le ha aprobado como tema de investigación para su Trabajo de Diploma el titulado: Determinación de la productividad del agua para el riego con máquinas de pivote central.
- II. **EL ESTUDIANTE** no divulgará información concerniente a la investigación, tanto durante el desarrollo como tras la culminación de esta sin la debida autorización **DEL TUTOR** o **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**.
- III. Que el Trabajo de Diploma fruto de la labor investigativa de **EL ESTUDIANTE** y la asesoría de **EL TUTOR**, resulta de **TITULARIDAD EXCLUSIVA** de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- IV. **EI ESTUDIANTE** una vez aprobada su tesis para la defensa, depositará una copia electrónica de la misma en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- V. A partir de la defensa y aprobación del Trabajo de Diploma, la publicación total, parcial o la elaboración de cualquier obra que se derive de esta investigación por parte de **EL ESTUDIANTE**, contará con la coautoría de **EL TUTOR** y viceversa, resultando de referencia obligada esta obra en cualquier otra que se elabore. El incumplimiento de esta cláusula, puede llevar consigo el inicio de procesos de plagio. Todo lo anterior de acuerdo a la normativa de Derecho de Autor vigente en Cuba.

Y para que así conste se firma la presente en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, a los 22 días del mes de Noviembre del año 2023.

EL ESTUDIANTE

JEFE DE DEPARTAMENTO

TUTOR

TUTOR

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la finca 8 perteneciente a la Empresa Agropecuaria Cascajal, con el objetivo de determinar la productividad del agua aplicada a los cultivos con la tecnología de pivote central. Para ello se determinó la uniformidad del riego de la máquina y se calcularon los valores de precipitación efectiva. Se emplearon los datos de rendimiento y agua aplicada en cada cultivo y se calcularon los valores de productividad del agua aplicada y agua total, respecto a los rendimientos del cultivo. Como principales resultados se obtuvieron valores aceptables de uniformidad de riego, las precipitaciones en el área responden al patrón histórico con el período lluvioso a partir del mes de mayo. En la productividad del agua se obtuvieron valores adecuados para el caso del cultivo del frijol en tanto que en los cultivos de boniato, calabaza, papa y yuca la productividad del agua fue baja como resultado de los insuficientes rendimientos y el exceso de riego.

ABSTRACT

The present work was carried out on farm 8 belonging to the Cascajal Agricultural Company, with the objective of determining the productivity of water applied to crops with central pivot technology. To do this, the uniformity of the machine's irrigation was determined and the effective precipitation values were calculated. The yield and water applied data were used for each crop and the productivity values of the applied water and total water were calculated, with respect to crop yields. As main results, acceptable values of irrigation uniformity were obtained, precipitation in the area responds to the historical pattern with the rainy period starting in the month of May. In water productivity, adequate values were obtained in the case of bean cultivation, while in sweet potato, pumpkin, potato and cassava crops, water productivity was low as a result of insufficient yields and excess irrigation.

DEDICATORIA

A mis padres por darme la vida y enseñarme todo de ella.

A mis hermanos por su ayuda incondicional.

A mis tíos por su amor sin límites.

A mis profesores y tutor que siempre están para guiarme.

A mi familia en general que quiero con todas las fuerzas de mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor de tesis por su orientación, apoyo y dedicación durante todo el proceso de investigación. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

También quiero agradecer a mis profesores y compañeros de estudio por su colaboración, consejos y comentarios que me han ayudado a mejorar y enriquecer este trabajo.

Agradezco a mi familia por su incondicional apoyo, comprensión y paciencia durante este periodo de dedicación a la tesis. Su amor y aliento han sido mi fuente de inspiración para seguir adelante.

A mis amigos y amigas que van y vienen por la vida dejando huellas imborrables.

A toda mi familia por su apoyo incondicional.

A mis hermanos gracias y mil veces gracias por tantas noches de desvelo, por estar en cada momento que los he necesitado y siempre han estado a mi lado.

Finalmente, quiero agradecer a todas las fuentes bibliográficas, instituciones y personas que han facilitado información y recursos para la realización de esta tesis.

Sin la ayuda y el apoyo de todas estas personas, este trabajo no habría sido posible. Estoy profundamente agradecido por su contribución a este logro académico.

A todos, GRACIAS

PENSAMIENTO

*“En los pueblos que han de vivir de la agricultura, los
Gobiernos*

*Tienen el deber de enseñar preferentemente el cultivo de
los campos”*

José Martí

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Las máquinas de riego de pivote central	4
1.2 El riego por Aspersión	5
1.3 Máquina de riego por aspersión de pivote central	8
1.4 Uso del agua para la agricultura.....	9
1.5 Particularidades del riego en Cuba	11
1.6 Necesidades hídricas de las plantas	11
1.7 La eficiencia en los sistemas de riego	14
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1 Metodología para la caracterización de los sistemas de riego	17
2.2 Metodología para la determinación del coeficiente de uniformidad	17
2.3 Metodología para la determinación de la eficiencia en el uso del agua	18
2.4 Metodología para determinar las precipitaciones efectivas.	19
CAPITULO 3. RESULTADO Y DISCUCIÓN	21
3.1 Caracterización de la empresa.....	21
3.1 Caracterización de la máquina de riego	22
3.2 Determinación de la uniformidad de riego.....	23
3.4 Resultado de las precipitaciones efectivas.....	24
3.5 Relación entre rendimiento y agua aplicada.....	26
3.6 Relación entre rendimiento y agua total aplicada.....	27
3.7 Productividad del agua en los cultivos.....	30
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFIA	35

INTRODUCCIÓN

La agricultura de regadío es la mayor consumidora de agua a escala mundial y es quien realmente explota las grandes extensiones de tierra que conforman las cuencas hidrográficas. Para lograr que la agricultura bajo regadío contribuya al uso sostenible del agua será necesario reducir los volúmenes aplicados a los cultivos. Entre las alternativas se encuentran el uso del riego con déficit hídrico, evitando el estrés en períodos críticos, y las mejoras en los sistemas para incrementar la eficiencia y uniformidad de aplicación del agua. (Pacheco et al., 2012).

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.

El riego por pivote central es una técnica ampliamente utilizada en la agricultura moderna para proporcionar agua de manera eficiente a los cultivos. Sin embargo, para garantizar un uso óptimo de los recursos hídricos y maximizar la productividad, es fundamental contar con un sistema de evaluación que permita monitorear y controlar el funcionamiento de estas máquinas.

En este sentido, se hace necesario evaluar la eficiencia en el uso del agua. Este sistema brindará a los agricultores información precisa y en tiempo real sobre el desempeño de sus sistemas de riego, lo que les permitirá tomar decisiones informadas y realizar ajustes necesarios para mejorar la eficiencia y la productividad de sus cultivos.

Problema científico

Como influye el régimen de riego y el rendimiento de los cultivos en la productividad del agua en máquinas de pivote central.

Hipótesis

La determinación de la productividad del agua de riego en la Empresa Agropecuaria UEB Cascajal puede estar afectada por el rendimiento y las normas de riego empleadas.

Objetivo general

Determinar la productividad del agua de riego en los diferentes cultivos bajo riego por sistemas de pivote central en la Empresa Agropecuaria UEB Cascajal.

Objetivos específicos

1. Caracterizar las condiciones de producción agrícolas de la UEB Cascajal
2. Determinar la uniformidad de la máquina de riego de pivote central.
3. Determinar las precipitaciones efectivas de la zona de estudio.
4. Calcular la productividad del agua de riego a partir de los rendimientos y el agua aplicada

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Las máquinas de riego de pivote central

En Cuba se han realizado numerosas inversiones destinadas a la modernización de los sistemas de riego que se explotan en el país en las cuales tiene un peso fundamental las máquinas de el pivote central (Hernández et al., 2010). Esta técnica consiste en un ramal de riego con un extremo fijo, por el que recibe el agua y la energía eléctrica, y otro móvil que describe un círculo girando sobre el primero, caracterizándose porque se mueve y riega (González, 2004). La misma está formada por una tubería portaemisores de diámetro único y adecuado al caudal a transportar, el cual depende de las necesidades del cultivo y de la superficie a regar. Se va sustentando sobre torres automotrices dotadas normalmente de un motor eléctrico y dos ruedas neumáticas. Cada tramo va unido a una torre y articulado con el tramo anterior debiendo permitir giros según el eje vertical y horizontal. El largo máximo de los tramos está en función del tamaño de la tubería, su espesor, pendiente y topografía del terreno (Ramírez, 2011). La separación entre torres varía entre 25 y 75 m, las más frecuentes son de unos 38 m (tramo corto) y 50 m (tramo largo). En cada torre lleva un motor (sistema propulsión), que transmite el movimiento a las dos ruedas mediante una transmisión cardan, tornillo sinfín y desmultiplicador.

El sistema eléctrico de las máquinas de pivote está formado por el cuadro de control y maniobra y colector de anillos rodantes, ambos en el pivote central, los cables conductores de tramo y las cajas de control de torre. El cuadro central controla, entre otros, los siguientes automatismos: velocidad de desplazamiento y sentido de avance, arranque/ realineación: interruptor manual, que elimina momentáneamente el sistema de seguridad y sirve para realinear la máquina, la parada en una posición y el conmutador sectorial que permiten regar un sector circular, el funcionamiento coordinado de bomba y pivote de forma automática, o el arranque desde la estación de bombeo (Tarjuelo, 2005). El voladizo es una tubería de menor diámetro con aspersores, que es suspendida por cables al final de la última torre para aumentar el área regada. Estos equipos han permitido un notable ahorro de agua y energía, al ser comparados con otras técnicas más tradicionales (González, 2006).

1.2 La evaluación de la uniformidad del riego

Uno de los factores más difíciles de evaluar es la uniformidad en la aplicación de agua. La uniformidad de aplicación se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos de la parcela regada. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén regadas, sin que unas reciban agua en exceso y otras les falte. Los aspectos más importantes para que se logre una alta uniformidad y eficiencia en el riego por aspersión son los siguientes: El sistema de aspersión debe lograr que el círculo húmedo creado por cada uno de los aspersores del sistema de riego se solape con el aspersor más cercano, la intensidad de aplicación de los aspersores debe ser menor que la velocidad de infiltración del suelo, la velocidad del viento debe considerarse en el proyecto, las líneas laterales no deben tener diferencia de presión entre el primero y el último mayor de 20 % de la presión de operación (Pacheco et al., 2012). El uso de coeficientes de uniformidad ponderados por superficie para máquinas de pivote central, se viene planteando desde el pasado siglo en la bibliografía internacional, destacándose los trabajos de Heermann y Hein , que modificaron el conocido Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, para ponderarlo por superficie (Pacheco, 2008).

1.2 El riego por Aspersión

Un sistema de riego tradicional de riego por aspersión está compuesto de tuberías principales 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. (B. Camejo & Duarte, 2009). 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)

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 & 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)

Clasificación del riego por aspersión

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

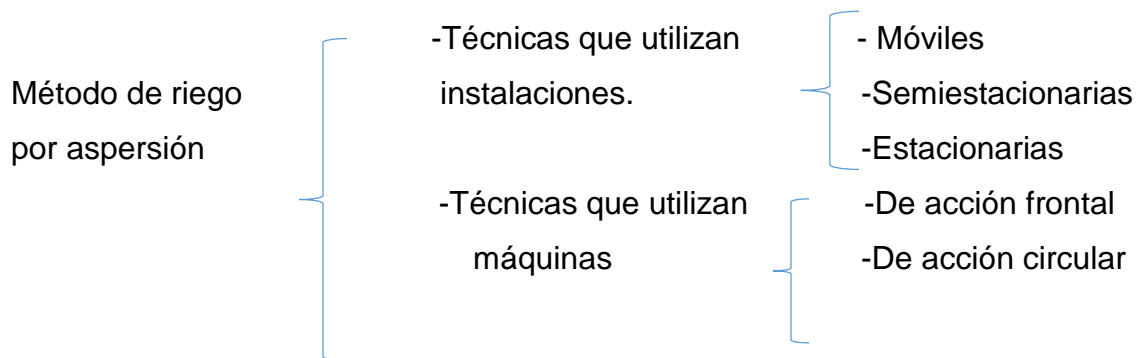
- Particularidades constructivas.
- Modo de aplicación.
- Magnitud de la carga suministrada al agua.

- 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, Alonso, Pujol, & Camejo, 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 zanjas 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 en su 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.

1.3 Máquina de riego por aspersión de pivote central

Las máquinas de riego por aspersión de pivote central 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 estas 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 177,8mm.

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.

1.4 Uso del agua para la agricultura

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). 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.

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).

1.5 Particularidades del riego en Cuba

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).

1.6 Necesidades hídricas de las plantas

Llegar a conocer los consumos de agua por parte de los cultivos y 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 (ET_o) 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 (Y. Pacheco, 2008); 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, Herrera, & L, 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 (ET_c). 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 (Díaz, Pérez, Partidas, & Suárez, 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) (J. 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].

1.7 La eficiencia en los sistemas de riego

Para el 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, 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).

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 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).

Uso eficiente del agua

Aprovechar el recurso agua y asegurar mayor eficiencia de su uso, 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 (F. González, López, & Herrera, 2015).

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 (F. González et al., 2015).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología para la caracterización de los sistemas de riego

El presente trabajo se llevó a cabo entre los meses de diciembre del 2022 a Octubre del 2023 en la UEB Cascajal del municipio de Santo Domingo en la provincia de Villa Clara con el fin de evaluar uno de los sistemas de riego de pivote central utilizados en dicha entidad.

La caracterización de los sistemas de riego utilizados 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 del coeficiente de uniformidad

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 Azucarera José María Pérez. Se analizaron los cultivos de caña de azúcar en las máquinas de riego por cañón enrollador eléctrica.

Para evaluar sistemas de aspersión estacionarios, se empleó la metodología de Merriam, 1978 y 1980 y las normas UNE-68-072-86 e ISO 7749-1 y 2, así como las normas americana ASAE standard: ASAE S 398.1, y ASAE S330.1.

Para determinar el coeficiente de uniformidad (CU) se utiliza la ecuación (1) de Christiansen, expresado como un porcentaje, Tarjuelo 1999.

$$CU\% = (1 - \sum C_i - M / Mn) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

C_i = cantidad recogida por cada pluviómetro o punto de control en mm;

m = valor medio del agua recogida en los pluviómetros o puntos de control en mm;

n = número total de pluviómetros o puntos de control.

Para realizar los cálculos de uniformidad se empleó el programa *Pluviopivot* el cual se diseñó para el manejo y análisis de los ensayos de uniformidad para máquinas de riego y que posibilita la evaluación de los diferentes parámetros relacionados con el mismo.

2.3 Metodología para la determinación de la eficiencia en el uso del agua

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

Para esto se utilizó la metodología descrita a continuación:

Productividad del agua de riego aplicada

Se determinó mediante la siguiente ecuación

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

Donde:

WPI - la productividad del agua de riego aplicada (kg/m³);

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

I - norma total bruta de agua de riego aplicada m³/ha

$$WPT = R / T \quad (kg/m^3) \quad (2)$$

Donde:

WPT - es la productividad del agua total (norma total de riego más precipitaciones) (kg/m³);

T - Total de agua aplicada al cultivo m³/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. Las

precipitaciones caídas durante los períodos estudiados fueron convertidas a precipitaciones efectivas, mediante el método de Savo, según (J. Pacheco, 2006).

Como referencia para los análisis de la productividad y eficiencia del uso del agua se emplearon los resultados de los estudios realizados por F. González et al. (2015).

Tabla 2.1 Rendimiento y productividad del agua en Cuba.

Cultivo	Variiedad, Clon, Cultivar	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Productividad (kg m ⁻³) (agua consumida)	Productividad (kg m ⁻³) (agua aplicada)	Consumo Especifico (m ³ t ⁻¹) (agua aplicada)
Ajo	Sancti Spiritus No3	10,6	2,94	3,62	276
Boniato	Clon CEMSA 78-425	73,7	15,80	88,54	11
Cebolla	Red Creole	18,7	4,41	5,11	196
Frijol	Negro/cueto 259	2,67	0,72	0,92	1087
Garbanzo	N-6	1,27	0,71	1,27	787
Maiz	T66	8,3	2,12	2,68	373
Malanga	Clon Isleña Japonesa	33,4	4,40	5,90	169
Papa	Spunta	28,7	7,61	7,59	132
	Baraka	26,3	7,87	6,96	144
	Kondor	26,3	9,07	6,96	144
	Desiréc	28,7	18,01	21,22	77
	Claudia	29,9	21,9	26,72	37
Papayo	Maradol Roja	51,7	4,72	33,01	94
Pimiento	Medalla de Oro	21,9	5,76	9,6	104
Piña	Española Roja	35,4	4,01	6,57	152
Banano	Clon Cavendish Gigante	47,9	3,48	11,28	89
	Clon Tetraploide	41,2	4,43	8,89	112
	Clon Parecido al Rey	43,7	4,00	13,43	74
Plátano	Clon CEMSA ¼	32,9	2,13	4,13	242
Sorgo verano	Enana	4,95	1,08	2,65	377
Sorgo invierno	Enana	4,64	1,32	2,2	455
Soya	G-7 R-315	3,86	0,88	2,91	344
Tomate	Campbell 28	63,8	18,74	22,2	45
Yuca	Clon señorita	40,95	5,28	11,08	90
Arroz		4,61		0,8	1250
Bermuda Cruzada		173,4 (M.V)		29,4	34
King grass		10,5 (M.S)	16,7	4,06	245

2.4 Metodología para determinar las precipitaciones efectivas.

Para determinar las precipitaciones efectivas se empleó el método de Savo para el cual es necesario conocer la pendiente del terreno, la precipitación mensual y las características del suelo, obteniéndose de la tabla 2.2 el coeficiente m_1 . A continuación se trabaja en la tabla 2.3, para entrar en ella se necesita la profundidad radicular en metros, la categoría del suelo y la lluvia mensual en milímetros; se obtiene el coeficiente m_2 . 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 o efectiva se obtiene al multiplicar el coeficiente M por la lluvia mensual caída.

Tabla 2.2 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	0.77	0.72	0.67	0.72	0.62	0.52	0.62	0.52	0.37
VII. Negros grises	0.77	0.70	0.60	0.70	0.60	0.40	0.50	0.50	0.25

Tabla 2.3 Determinación del coeficiente m_2 .

Categorías de los de los suelos según la tabla 2.1	I		II		III		IV y V		VI		VII								
	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

CAPITULO 3. RESULTADO Y DISCUCIÓN

3.1 Caracterización de la empresa

La Unidad Empresarial Básica Cascajal se localiza en el municipio de Santo Domingo, en las coordenadas $22^{\circ}39'09.07''\text{N}$ y $80^{\circ}31'28.82''\text{W}$ (Figura 3.1). El suelo que predominante es Ferralítico rojo, el cual varía según su estado de humedad dependiendo de las condiciones climáticas y de la gestión del agua en el área. Sin embargo, este tipo de suelo tiende a retener la humedad de manera moderada. Esto se debe a que los suelos ferralíticos rojos suelen tener una buena capacidad de retención de agua debido a su alto contenido de arcilla y materia orgánica. Su color rojizo indica la presencia de óxidos de hierro, los que pueden contribuir a retener la humedad en el suelo. Sin embargo, en épocas de sequía o con baja humedad ambiental, el suelo ferralítico rojo tiende a secarse y tener una baja retención de humedad. Por lo tanto, su clasificación como suelo seco o húmedo puede variar según las condiciones específicas en las que se encuentre.

Los principales cultivos que se siembran en esta empresa son la papa, el boniato, la yuca. En el caso de los granos son el maíz, el frijol y en el caso de las hortalizas la calabaza. Esta empresa cuenta con un área total de 144 hectáreas abarcadas por las fincas 1, 2, 7, 8, 9, 11 y 18 las cuales solo las fincas 1 y 18 no cuentan con la instalación de sistemas de riegos por pivote.



Figura 3.1 Superficie productiva de la UEB Cascajal.

3.1 Caracterización de la máquina de riego

La máquina de pivote central donde tuvo lugar la investigación es de modelo *Western* (Figura 3.2), con un motor eléctrico de 52 kW y 1700 rpm, se encuentra instalada en la finca 8 la cual tiene una longitud de 280.5 m. Tiene un total de 5 torres con 150 surtidores habiendo un total de 30 surtidores entre las torres.



Figura 3.2 Máquina de riego pivote central y surtidores.

En la siguiente tabla se muestran las principales características de la máquina de riego instalada en la UEB.

Tabla 3.1 Características de la máquina de riego de pivote central.

Máquina de pivote central	
Marca	Western
No. de torres	5
No. de surtidores	150
Longitud (m)	280.5
Eficiencia de diseño (%)	90
Área Regada (ha)	24.9
Caudal (L)	2.6
Presión (bar)	2.5

3.2 Determinación de la uniformidad de riego

Los parámetros para la determinación de la uniformidad de entrega del agua de la máquina de riego se muestra en la Tabla 3.2, en la misma se muestran los principales elementos que influyen sobre las partículas de agua así como los datos de la máquina de pivote y los elementos del ensayo de la medición.

Tabla 3.2 Parámetros de la medición de la uniformidad del riego.

Datos de la evaluación	
Máquina: Campo 14-UBPC 2- Cayo Bejuco	Presión en el pivote: 2.00 kg/cm ²
Cultivo y fase: Frijol	Regulación: 10%
Fecha: 3/22/2023	Lámina de riego requerida: 25 mm
Hora de inicio: 8.30am	Velocidad del viento: 0 m/s
Hora de fin: 1.00pm	Velocidad de la última torre: 33 m/h
Diámetro: 10.5 cm	Dirección del Viento: N
Equidistancia: 3 m	Dirección de los pluviómetros: O

Los resultados de la medición se muestran en la Figura 3.3, donde se puede apreciar el volumen de agua que se captura en cada pluviómetro. En el gráfico se denota que en el volumen mayor recolectado se encuentra en los primeros 15 metros, los que corresponden a los cinco pluviómetros más cercanos a la torre central del pivote, de igual modo altos valores, entre 35 y 40 mm de agua se identifican en la primera mitad del pivote recolectada por los pluviómetros 18 y 22. Los valores mínimos se obtienen al final del último tramo con valores menores a 15 mm de agua.

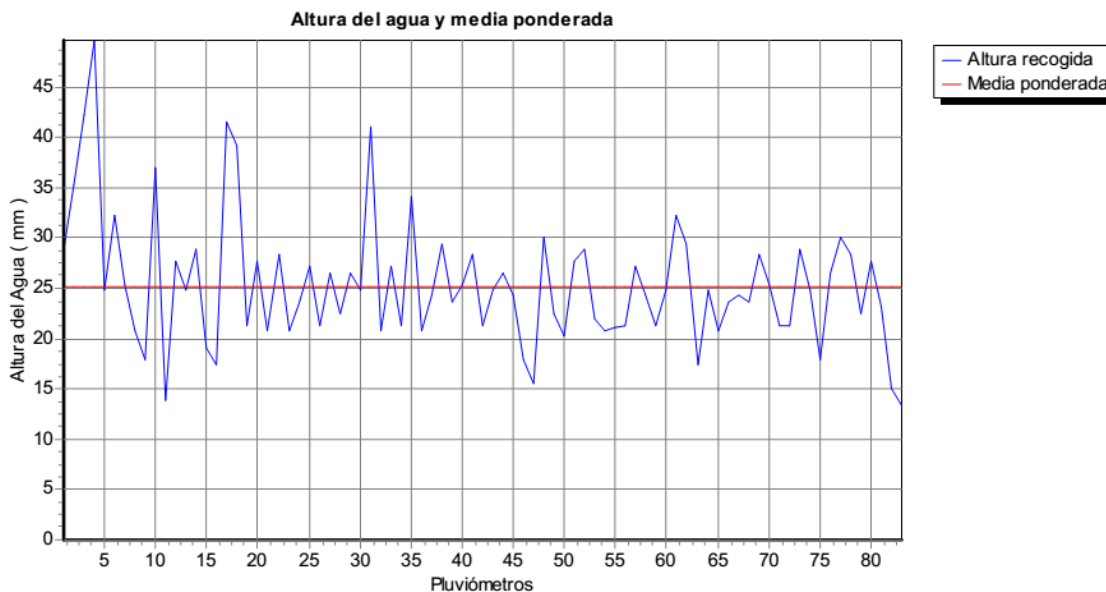


Figura 3.3 Gráfico de distribución del agua en los pluviómetros.

En la tabla 3.3 se muestran los parámetros de la uniformidad del riego que fueron determinado durante las mediciones. Se destaca que se logra un valor de lámina de riego en correspondencia con el provisto de 25 mm, siendo este de 25,2 mm y se logra un Coeficiente de uniformidad ponderado de 84,5%, lo cual lo califica como adecuada para este tipo de sistema.

Parámetros calculados	
Media Ponderado	25.224 mm
Media Ponderada del 25% menos regado	19.272 mm
Coeficiente de Variación Ponderado	20.7 %
Coeficiente de Uniformidad Ponderado	84.5 %
Uniformidad de la distribución ponderado	76.4 %

3.4 Resultado de las precipitaciones efectivas

Las precipitaciones efectivas se calcularona a partir de los registros del acumulado de las lluvias caidas en cada mes del cultivo (Tabla 3.3), para ello se empleó el

método de Savo como se explica en la sección de materiales y métodos. Los suelos de la zona de estudio se definen como tipo III de tonalidad roja.

Tabla 3.3 Cálculo de las precipitaciones efectivas.

MES	Acumulado, mm	M1	M2	M	Pe, mm
Enero	65	0.75	0.8	0.6	39
Febrero	67	0.75	0.8	0.6	40.2
Marzo	46	0.75	0.8	0.6	27.6
Abril	54	0.75	0.8	0.6	32.4
Mayo	98	0.75	0.8	0.6	58.8
junio	180	0.7	0.8	0.56	100.8
julio	125	0.7	0.8	0.56	70
Agosto	98	0.75	0.8	0.6	58.8
Septiembre	146	0.7	0.8	0.56	81.76
Octubre	170	0.75	0.8	0.6	102

Como se puede apreciar en la figura 3.4, las principales precipitaciones ocurrieron en los meses de junio y octubre con valores de 180 y 170 respectivamente, la temporada lluviosa comenzó desde el mes de mayo luego pasar los primeros cuatro meses del año con valores de precipitaciones entre 25 y 65 mm.

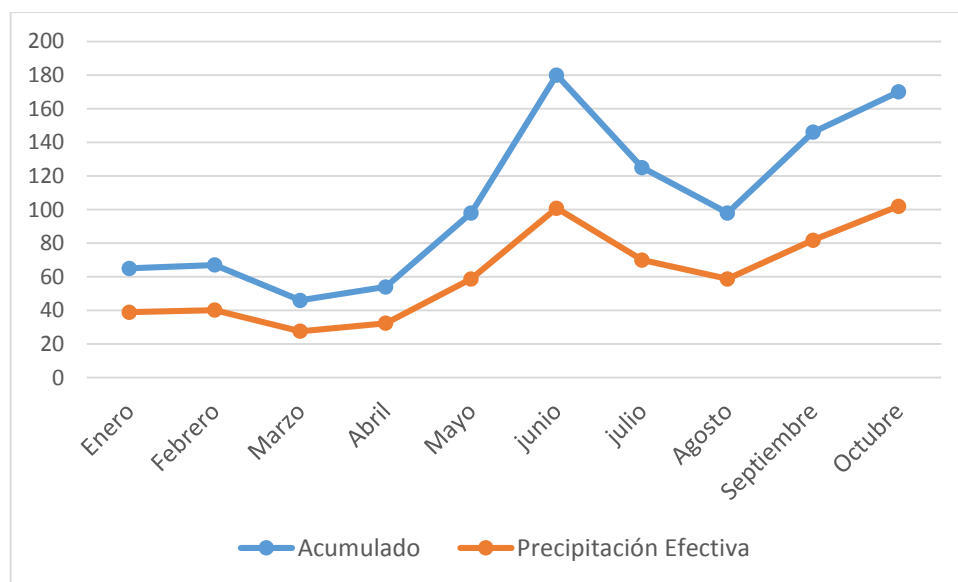


Figura 3.4 Precipitación efectiva y acumulada en el período de estudio.

3.5 Relación entre rendimiento y agua aplicada

Para la determinación del rendimiento y el agua aplicada en cada cultivo se utilizó la información sobre los consumos de agua, agua aplicada por riego, precipitaciones y los rendimientos de los cultivos obtenidos durante el período y se analizaron los cultivos sembrados en las máquinas de riego de pivote central. La tabla 3.4 muestra los cultivos analizados, el área total sembrada, la producción (R), el agua de riego aplicada (I), las fechas de siembra y cosecha.

Tabla 3.4 Datos base de los cultivos.

Plantación	Agua aplicada m ³ /ha	Area cultivo, ha	Rendimiento kg/ha	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Boniato	866	6.3	12000	3/1/2023	8/5/2023
Papa	3750	5.2	15000	1/1/2023	10/4/2023
Frijoles	3750	5.8	1800	22/2/2023	28/5/2023
Calabaza	4500	6.8	11500	2/3/2023	5/8/2023
Yuca	2350	5.3	8300	23/12/2023	14/7/2023

La relación entre el rendimiento agrícola y el agua aplicada por riego se muestra en la figura 3.5 donde se aprecia una tendencia al incremento del rendimiento con la misma cantidad de agua aplicada.

En la figura 3.5 se muestra que el volumen de agua aplicado está en el rango de los 3500 m³/ha, menos en el boniato que se le aplican solo 866 m³/ha, a pesar de ello los rendimientos son diferentes debido a que los requerimientos de riego para cada uno de ellos es diferente. La afectación que produce el déficit 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 (L. E. Camejo & Duarte, 2002).

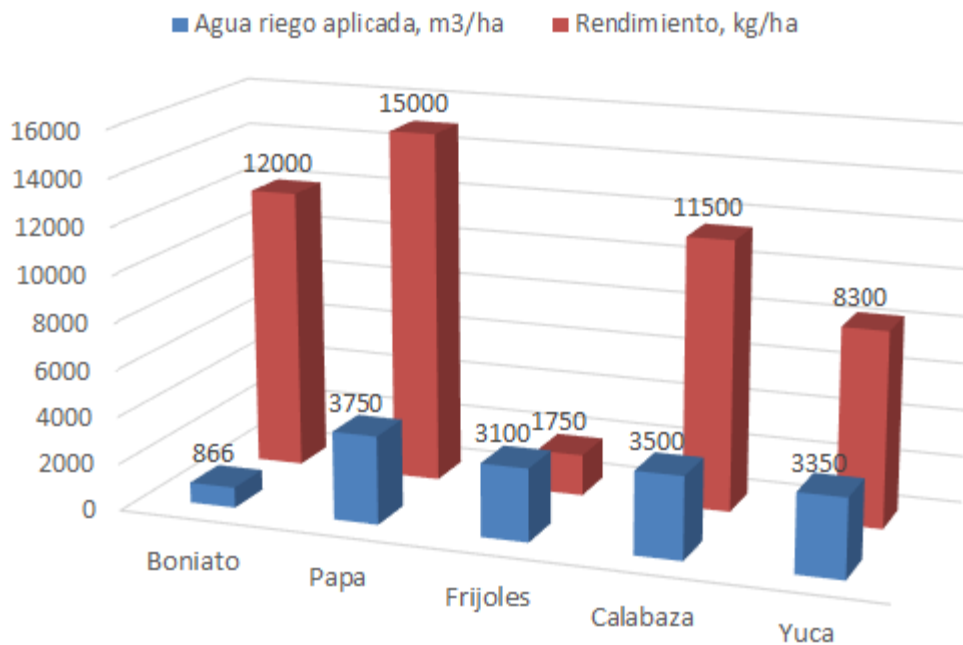


Figura 3.5 Relación entre el rendimiento y el agua aplicada en cada cultivo.

3.6 Relación entre rendimiento y agua total aplicada

El agua total aplicada a casa cultivos se muestra en la siguiente tabla, cada incremento se ve afectado por el agua que aportan las precipitaciones en cada mes durante el período vegetativo de los cultivos analizados.

Tabla 3.5 Total de agua aplicada a cada cultivo.

Cultivo	Rendimiento kg/ha	I (m³/ha)	P (mm)	Pe (m³/ha)	T (m³/ha)
Boniato	12000	866	330	198	1064
Papa	15000	3750	232	139.2	3889.2
Frijoles	1800	3750	167	100.2	3850.2
Calabaza	11500	4500	601	348.4	4848.4
Yuca	8300	2350	635	368.8	2718.8

1mm de Agua = 10 m³/ha = 1 L/m²

La relación entre el rendimiento agrícola del cultivo y el agua total aplicada se muestra en la figura 3.6, se aprecia un incremento del rendimiento con un incremento del agua total aplicada al cultivo.

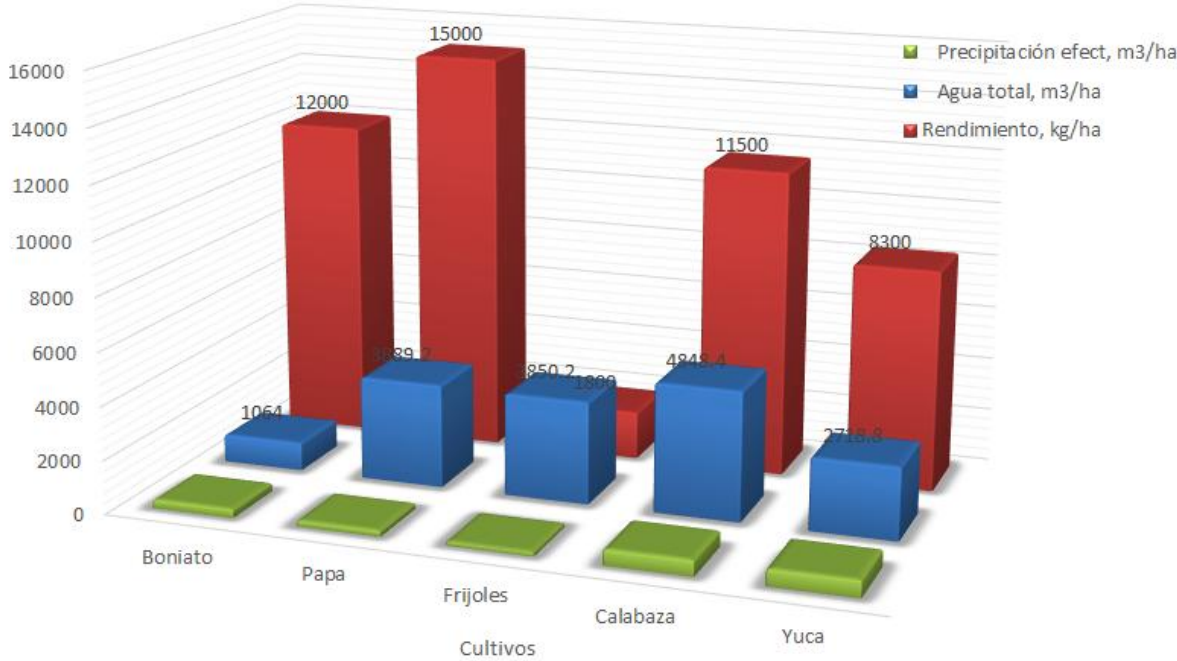


Figura 3.6 Rendimiento agrícola, Precipitaciones y Agua total aplicada para todos los cultivos.

En el cultivo del boniato se logró un rendimiento agrícola de 12000 kg/ha con 1064 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). Para el boniato la norma neta de agua de riego es de 4648 m³/ha (Duarte, J.Herrera, Lopez, González, & Zamora, 2015) y en los datos tomados se muestra que el valor del agua total es de 1064 m³/ha lo que nos muestra que no se alcanzó la norma neta de agua de riego. 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.

En el cultivo de la papa se logra un rendimiento de 15000 kg/ha siendo este moderadamente bajo si consideramos que en condiciones de adecuados regímenes de riego y con los fertilizantes y control de plagas adecuados puede alcanzar en nuestro país hasta 22000 kg/ha, no obstante se consiguieron los resultados de rendimiento con una total de 3750 m³/ha.

El cultivo del frijol muestra un rendimiento de 1800 kg/ha para lo cual se empleó un agua total de 3750 m³/ha. 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 3850 m³/ha lo cual indica que existe un ligero exceso del uso del agua aplicada. Otros trabajos realizados sobre el uso del agua en el cultivo del frijol han mostrado un consumo de agua similar al presentado aquí (Gonzales, Abreu, Herrera, & López, 2017), en ambos casos no se alcanzó la norma propuesta por (Duarte et al., 2015). 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, Boicet, & Oduardo, 2013).

La calabaza con una cantidad de agua aplicada de 4500 m³/ha se obtuvo un rendimiento agrícola de 11500 kg/ha. En este cultivo la norma neta del agua de riego es de 2100 m³/ha (Duarte et al., 2015) y en los datos tomados se observa que el valor del agua aplicada es de 4848.8 m³/ha lo que nos muestra que superó la norma neta de agua de riego de forma ligera.

Para el cultivo de la yuca, el rendimiento estuvo en 8300 kg/ha siendo este muy inferior a las potencialidades de este cultivo y a cosechas similares en similares circunstancias. Este rendimiento se debe principalmente a una baja población y un nivel alto de enyerbamiento lo que redujo el crecimiento y consolidación de los

rizomas. Para este cultivo se aplicaron 2350 m³/ha para un acumulado total de 2718.8 kg/ha lo que es ligeramente superior a normas aplicadas en estudios anteriores.

3.7 Productividad del agua en los cultivos

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.

Cultivos	Pe (m ³ /ha)	R (kg/ha)	Agua aplicada	T (m ³ /ha)	WPI (kg/m ³)	WPT (kg/m ³)
Boniato	198	12000	866	1064	11.28	0.81
Papa	139.2	15000	3750	3889.2	4.00	0.96
Frijoles	100.2	1800	3750	3850.2	0.48	0.97
Calabaza	348.4	11500	4500	4848.4	2.56	0.93
Yuca	368.8	8300	2350	2718.8	3.53	0.86

La relación entre el agua aplicada por riego y la productividad del agua total se muestra en la figura 3.7 donde se observa un crecimiento de la productividad del agua total con un incremento del agua aplicada por riego. El incremento del uso del agua provoca una mejor productividad, lo que conyeva a obtener una mejor producción y con mayor eficiencia.

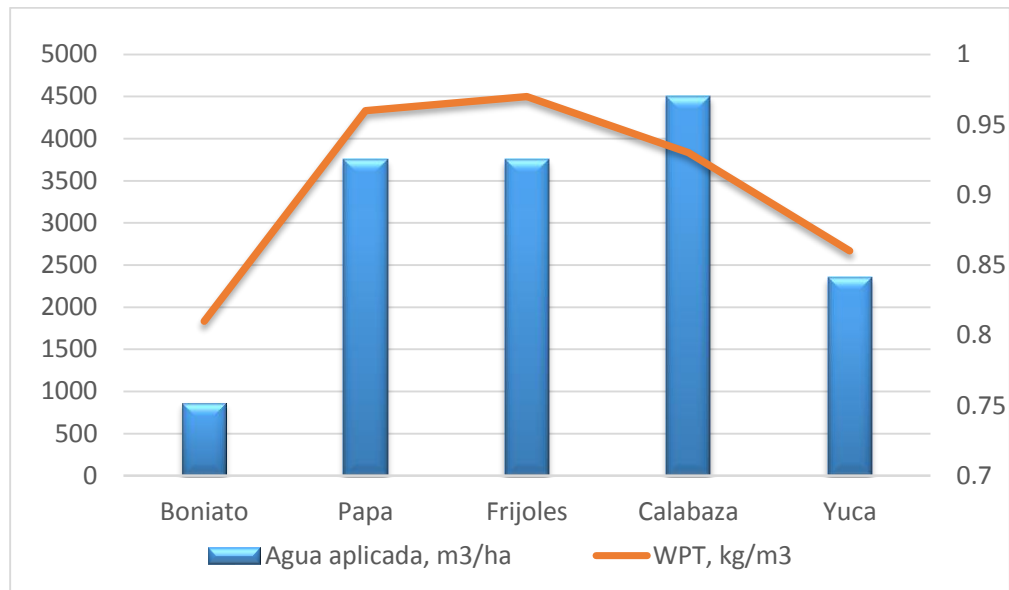


Figura 3.7 Agua aplicada y productividad total del agua (WPT).

Para el boniato se observa una baja productividad del agua respecto a los valores de referencia (F González, López, & Herrera, 2015), El agua aplicada fue considerable para este cultivo en tanto los rendimientos fueron bajos lo que resultaron en la baja eficiencia que se obtiene para el mismo.

En la papa los valores de productividad del agua son también bajos, no llegando a $1\text{kg}/\text{m}^3$ lo cual sucede fundamentalmente por el exceso de riego y el aporte considerable de las precipitaciones que tuvieron lugar durante el período vegetativo.

Para los frijoles los valores de productividad fue buena y mejoran los datos de referencia, considerando que es un cultivo de bajas necesidades hidricas que en varias circunstancias se cosechan solo con el agua que aportan las precipitaciones en los meses de septiembre y con necesidad de riego para la cosecha de frío.

Por su parte, el cultivo de la calabaza muestra valores bajos de productividad del agua como consecuencia del riego uniforme a diferentes cultivos y la aplicación de normas fijas.

Finalmente la yuca los valores de productividad son bajos al no sobrepasar la producción de 1kg por metro cúbico de agua aportada en el riego. La causa principal

sigue siendo la sobredosis de riego y el bajo rendimiento que no sobrepasa las 10 t/ha.

El valor de la productividad del agua para un mismo cultivo es muy variable, con la misma cantidad de agua aplicada a un cultivo puede variar en función de la adaptación del cultivo al medio donde se desarrolla, la productividad del suelo, de los niveles de aplicación de fertilizantes y también la técnica de riego (F González et al., 2015).

El incremento en las áreas bajo riego y la reducción de la disponibilidad de agua en el futuro próximo llevan a un uso más racional del agua para alcanzar adecuados rendimientos. 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, D.SCHNEIDER, & EVETT, 1997) y (ZWART & 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.

CONCLUSIONES

La UEB Cascajal cuenta con las condiciones para efectuar el riego por aspersión en más del 80% de los suelos destinados a la agricultura mediante sistemas de riego con máquinas de pivote central, posee además suelos ferralíticos de buen drenaje.

En la máquina de riego estudiada se logra un valor de lámina de riego en correspondencia con el provisto de 25 mm, siendo este de 25,2 mm y se logra un Coeficiente de uniformidad ponderado de 84,5%, lo cual lo califica como adecuada para este tipo de sistema.

Se aprecia una tendencia al incremento del rendimiento de los cultivos con el aumento del agua aplicada por riego y agua total.

Solo en el cultivo del frijol se logra una productividad del agua satisfactoria, lográndose un rendimiento adecuado con normas bajas de riego.

Para los cultivos de boniato, papa, calabaza y yuca la productividad del agua es baja como resultado de los bajos rendimientos y la aplicación excesiva del riego.

RECOMENDACIONES

Para establecer el regimen de riego y las normas de riego se deben cosiderar las necesidades hidricas de cada cultivo así como las precipitaciones efectivas.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, D. (2006). El riego por aspersión.
- Boudet, A., Boicet, T., & Oduardo, R. (2013). Rendimiento y sus componentes en variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de sequía en Río Cauto.
- Camejo, B., & Duarte, L. (2009). Las máquinas de riego y los cultivos Agrícolas.
- Camejo, L. E., & Duarte, L. S. (2002). Relación agua-rendimiento y manejo del riego en algunos de los principales cultivos de la zona central de Cuba., *XXIII*.
- Cid, G., Herrera, J., & L, T. (2009). "*Elementos a considerar en la proyección de sistemas de riego en suelos con tendencia al sobre humedecimiento y la salinización en Cuba*" (Ciencias Técnicas Agropecuarias ed.).
- Cisneros Z., E. M. F., Marcial; Chong P., Carmelo. (2004). Nuevos enfoques sobre el riego por aspersión de baja intensidad en la agricultura cubana, *13*.
- Davitaya, F. F. (1965.). *Los recursos climáticos de Cuba* (Ed. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, ed.).
- Díaz, T., Pérez, N., Partidas, L., & Suárez, Y. (2008). "*Manejo sostenible del agua en zonas semiáridas: evaluación de dos técnicas de riego y fertilización nitrogenada en Sinaloa, México*" (Ciencias Técnicas Agropecuarias ed.).
- Duarte, C., J.Herrera, Lopez, T., González, F., & Zamora, E. (2015). Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba, *5*, 46-51.
- Gonzales, O., Abreu, B., Herrera, M., & López, E. (2017). Water Use for Bean Irrigation on Eutric Cambisol Soils, *26*, 70-77.
- González Baucells, P. M., Marcial A. (2004). Panorama del riego y drenaje en Cuba, *13*.
- González, F., López, T., & Herrera, J. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba., *24*.
- González, F., López, T., & Herrera, J. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *24*, 57-63.
- HOWELL, T. A., D.SCHNEIDER, & EVETT, R. (1997). Subsurface and surface micriirrigation of corn SouthernHigh Plains, Transaction of the ASAE.
- Pacheco, J. (2006). *Riego y Drenaje*. La Habana.
- Pacheco, Y. (2008)). Aplicación de software para calcular coeficientes de uniformidad ponderados por superficie en máquinas de riego de pivote central. Ingeniería de recursos naturales y del ambiente. *2*, 12-15.
- Piedra, J. I. G. El manejo de cuencas en Cuba.

- Reynoso, A. R. (1982). *El pronóstico del riego en Cuba*.
- Rodriguez, M., & Rey, R. (2007). *Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano el empleo del minia aspersor Mamkad 2255 "pruebas de campo*.
- Rodríguez, S. (2011). La producción de alimentos. Un reto inaplazable.
- Seguí, J. P., Alonso, N., Pujol, P., & Camejo, E. (2006). *Riego y Drenaje* (F. Varela Ed. Margarita Gordillo Ascanio ed.). La Habana.
- Sela, G. (2017). Las necesidades hídricas de los cultivos.
- ZWART, S. J., & BSTIAANSSEN, W. M. (2004). Review of measured crop water productivity values of irrigated wheat, rice, cotton and maize, *Agricultural water Management*.
- Pacheco, J. (2008). Propuesta de metodología para el manejo del riego en las máquinas de pivote central. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 6p.
- Pacheco, Y. (2008). Aplicación de software para calcular coeficientes de uniformidad ponderados por superficie en máquinas de riego de pivote central. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*. Cali, Colombia. Volumen I No.2. p. 12-15.
- MARTINEZ, M. A.: Tecnologías para el uso sostenible del agua [en línea], vol. no. Tegucigalpa, M.D.C, Honduras.
- SANTOS, L.; J. A. JUAN; M. R. PICORNELL; J. TARJUELO: [en línea], vol. no. Lisboa. Portugal.
- Hernández, R; González, M; Espinosa, J. (2010). Parámetros de Explotación y Uniformidad de Riego en la Máquina de Pivote Central Otech-Irrimec.pp14.Sitio;<http://www.actaf.co.cu/revistas/Revista%20IAGRIC/12011-artic/iagric02111.pdf>
- González, P. (2004). Manual para el diseño y operación de máquinas pivote central. 64p.
- Ramírez, J. (2011). Riego de precisión y su aplicación en una máquina de riego de avance frontal. Tesis profesional para obtener el título de ingeniero mecánico agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo. pp.61.
- Tarjuelo, M. (2005). El riego por aspersión y su tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Tercera edición, Madrid, España. 569p.
- González, P. (2006). Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las máquinas de riego por aspersión, Informe final. Proyecto. IIRD, La Habana, Cuba. p. 18-22.