



Instituto de Investigaciones
de Ingeniería Agrícola



**TEMA: EVALUACION DEL REGIMEN DE RIEGO CON MAQUINAS DE
PIVOTE CENTRAL ELECTRICO EN EL CULTIVO DEL FRIJOL, EMPRESA
AGROPECUARIA "LAGUNA BLANCA".**

AUTOR: WILLINGTON ALFONSO MARR BATISTA.



Tutores: DrC. Prof. Pavel Vargas Pérez.

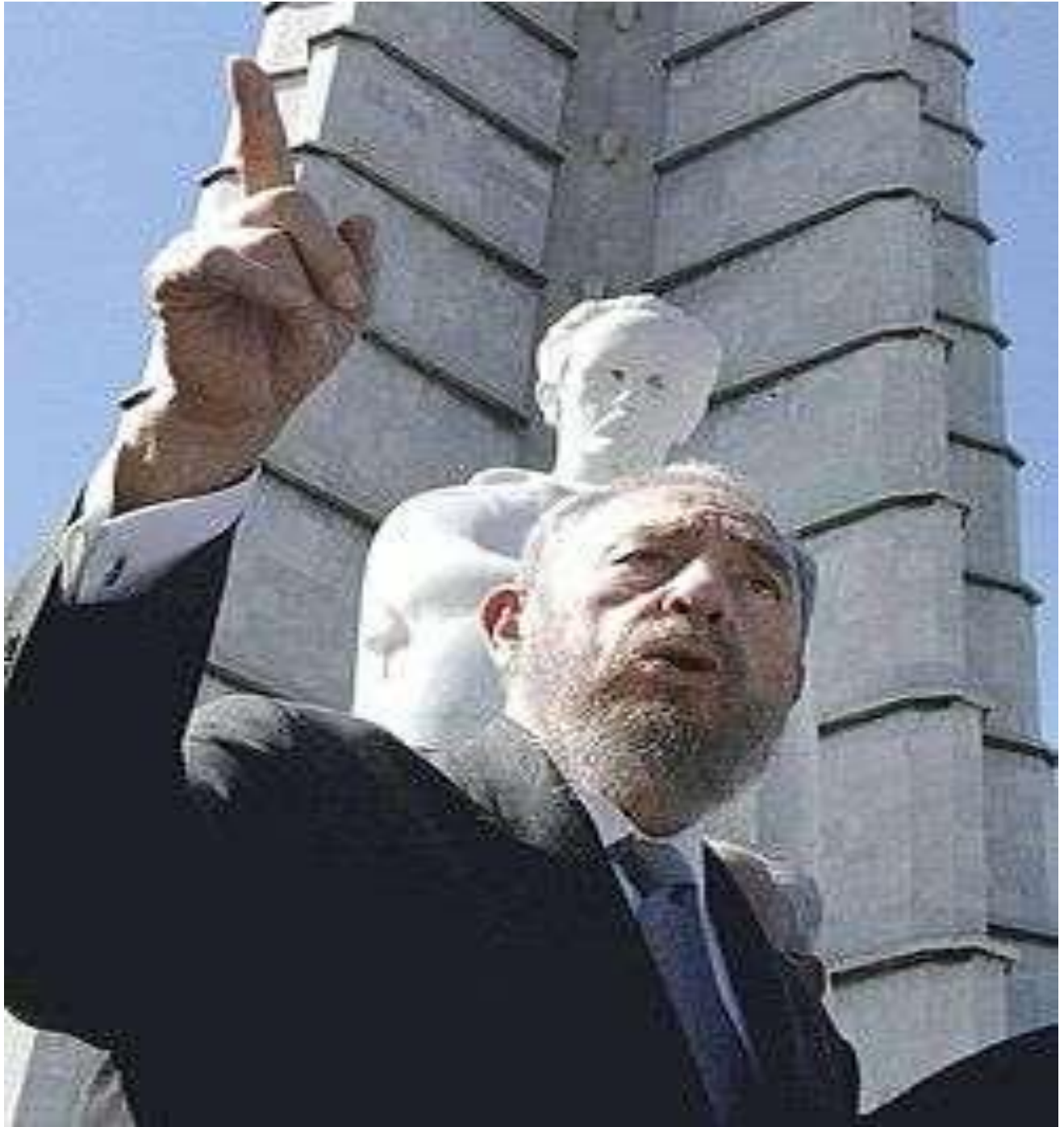
Ing. Elaisa Rodríguez Pérez.

JUNIO DE 2019

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE COSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA HIDRAULICA**



Pensamiento:



``Revolución, es cambiar todo lo que debe ser cambiado''.....

Fidel Castro Ruz.

DEDICATORIA:

Este trabajo está dedicado a todas las personas que lo hicieron posible, a todo aquel que durante todos estos años ha formado parte de mi vida, en especial a mis dos abuelas, mis padres, mis hermanas y mis tres sobrinos. A los que no creyeron en mí y los que nunca dejaron de creer. A todos esos buenos amigos que siempre me apoyaron y a los que considero más que amigos, mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS:

En el transcurso de mi carrera hubo mucha influencia de personas que hicieron posible la culminación satisfactoria de la misma por lo que he de agradecerles, y tendrán que disculparme si me falta alguna de ellas:

1- Le agradezco a mis compañeros de grupo, los que están y los que ya no porque se adelantaron...

2- También he de agradecerle a mis amigos de siempre: Ronaldi Verdecia, Fernando Duran, Yohan Bravo, Alexis Labrada, Michel Suarez, Zueniel Muños, Miguel Nuñez, Ernesto Chávez, Ronaldo, Yoelito, Yosvanis... y otros tantos.

3- A mis tutores, que estuvieron pendiente a que se realizara de manera correcta este trabajo los cuales son Dr C. Prof. Pavel Vargas Rodríguez e Ing. Elaisa Rodríguez Pérez.

4- A mis amigos de la infancia y del barrio, que siempre estuvieron ahí para apoyarme en el transcurso por la universidad: Luis Rafael, Dayron, Martin Ramón, Richard, Saborní, El Coco...

5- En especial a mi familia, que nunca dejaron de apoyarme en todo momento: mis hermanas Yanmaris (Yayi) e Hilda (Pu); a mis tías Reina, Sarita, Pilar, Mariana (Deisi); a mis primos Sobeida, Richard, Wuicho, Carlito, Román... a mis padres Alfonso y María por nunca darse por vencidos conmigo y tener la fe de que lo lograría a cualquier precio:

*Gracias a todos y a los
que faltaron.*

Willington Alfonso Marr Batista (2019)

RESUMEN

RESUMEN

Entre los sistemas de riego más usados del mundo están las máquinas de Pivote Central. Hacen fácil y eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados, aplicando riegos más frecuentes y cubriendo los requerimientos de agua de los cultivos, aumentando así la producción. Mecánicamente son muy fiables y simples de operar, permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas. La expansión de esta técnica ha permitido estabilizar las grandes producciones de alimentos, hortalizas y granos sobre los suelos con mejores condiciones desde el punto de vista agrícola. La Empresa Agropecuaria Laguna Blanca realizó una inversión importante en esta tecnología con la instalación de 29 máquinas beneficiando un área de 938 ha para la producción de granos, estas máquinas se operan sin una adecuación de sus regímenes de riego de explotación a las condiciones climáticas y de suelo de la zona influyendo negativamente en los rendimientos agrícolas y la productividad del agua de estos sistemas. Constituye objetivo de este trabajo realizar el estudio del régimen de explotación de estos equipos teniendo en cuenta que la uniformidad de aplicación del riego es un parámetro que está muy relacionado con la eficiencia y la producción del cultivo. La precisión de la norma de riego de explotación para la producción de frijol bajo máquinas y en las condiciones climáticas y de suelo de la zona contribuirá al incremento de la eficiencia del uso del agua y los rendimientos productivos con un impacto positivo en la productividad del agua bajo estas condiciones.

ABSTRACT:

ABSTRACT

The machines of Central Pivot are among the used watering systems in the world. They make easy and effective the watering in many areas where other irrigation methods are not adapted, applying more frequent waterings and covering the requirements of water of the cultivations, increasing this way the production. Mechanically they are very reliable and simple of operating, they allow a notable saving of water and energy when being compared with other techniques. The expansion of this technique has allowed to stabilize the big productions of foods, vegetables and grains on the floors with better conditions from the agricultural point of view. The Company Agricultural Laguna Blanca carried out an important investment in this technology with the installation of 29 machines benefitting an area of 938 there is for the production of grains, these machines are operated without an adaptation from her régime of watering of exploitation to the climatic conditions and of floor of the area influencing negatively in the agricultural yields and the productivity of the water of these systems. It constitutes objective of this work to carry out the study of the régime of exploitation of these teams keeping in mind that the uniformity of application of the watering is a parameter that is very related with the efficiency and the production of the cultivation. The precision of the norm of watering of exploitation for the production of bean low machines and under the climatic conditions and of floor of the area it will contribute to the increment of the efficiency of the use of the water and the productive yields with a positive impact in the productivity of the water under these conditions.

Índice:

Dedicatoria	3
Agradecimientos.....	4
Resumen	6
Abstract.....	8
Introducción.....	12
Capítulo1.....	1
1.1 Reseña histórica e importancia de los sistemas de riego.	1
1.1.1 Métodos de riego más utilizados.....	2
1.1.2 Clasificación de las máquinas de pivote central.	3
1.1.3 Características generales del pivote central.....	4
1.1.4 Componentes del pivote central.	5
1.1.5 Ventajas y desventajas del pivote central.	7
1.3 Recursos naturales implicados en la agricultura de regadíos.....	10
1.4 Evaluación y manejo de los sistemas de riego.....	14
1.4.1 Explotación del riego con máquinas de pivote central.....	15
1.4.2 Efecto de la calidad del riego en los sistemas de pivote central respecto al consumo de agua.	15
1.4.3 Consideraciones económicas de los pivotes centrales.....	16
1.4.4 Problemas que pueden traer las máquinas de pivote central.....	17
1.5 Antecedentes de la evaluación de los sistemas de riego.	18
1.5.1 Indicadores de comportamiento.	18
1.5.2. Evaluación de sistemas de riego.....	19
1.6 Caracterización del cultivo, frijol.	20
1.7 Conclusiones parciales.....	22
Capítulo 2.....	25
2.1 Descripción del área de estudio.	25

2.2 Caracterización	27
2.2.1Complejo agua – suelo – planta – clima.	27
Oscuro Gleyzoso Gris.....	28
2.2.2Técnica de riego.....	29
2.3.- Procedimiento para determinar el régimen de riego de explotación.....	29
2.4 Procedimiento para la evaluación técnica.....	31
2.4.1 Metodología para la evaluación de las máquinas de pivote central.	31
2.4.2 Análisis de los parámetros de explotación en los pivotes centrales.	33
2.4.3 Procedimiento para la determinación de la velocidad de avance de los pivotes centrales.....	35
2.4.4Factores climáticos a tener en cuenta para la evaluación de las máquinas de pivote central.	36
Conclusiones.....	38
Referencias bibliográficas.....	40
Anexos	42

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el agua escasea en muchas zonas del mundo, tanto en cantidad como en calidad. La demanda creciente de alimentos obliga al incremento de la extensión y producción de los cultivos. La lluvia promedio en Cuba oscila cerca de los 1400mm; sumado a que su distribución en el archipiélago es muy irregular y solo el 20% ocurre en el periodo de noviembre a abril (periodo seco(Fig.1), concuerda con ciclos completos de cultivos muy importantes como la papa, tabaco y hortalizas afectando en gran manera los rendimientos. El 70% del potencial aprovechable del agua se utiliza en el ámbito agrícola lo cual convierte al uso eficiente del agua en una prioridad al planificar nuevos regadíos y al modernizar los existentes.

Fig.1 Ocurrencia de la lluvia.



Fig.2 Áreas bajo riego en Cuba.



En el oriente del país es donde históricamente las temperaturas son más elevadas (hace más calor) y los periodos de sequía y escasez de agua son más extensos, específicamente en provincias como Santiago de Cuba. Esta cuenta con más de 1 millón de habitantes que consumen gran cantidad de alimentos del

agro, no obstante Santiago cuenta con el polo productivo, empresa agropecuaria Laguna Blanca, que destina casi la totalidad de su producción a la ciudad. En dicha empresa se realizó una inversión bastante abarcadora en la que se montaron 29 máquinas de pivote central; desde su implementación se explotan por los parámetros del paquete técnico de proyecto, es decir se está regando según un régimen de riego ideal adecuado para la selección de las maquinas en el mercado conveniente para su utilización en la empresa, pero no para el incremento de la producción. Además, las excesivas pérdidas de agua durante la actividad del riego son evidentes ya que el tipo de suelo es generalmente plástico, con problemas de drenaje y los regantes no tienen en cuenta la evapotranspiración de los cultivos ni las condiciones edafoclimáticas de la zona. Lo cual se traduce en mal aprovechamiento del agua (desperdicio), elevado consumo energético, baja productividad del recurso agua, que en este caso se obtiene del rio Cauto, uno de los ríos con más consumidores del país. El cultivo a evaluar es el frijol, este no presenta problemas de rendimiento en la empresa llegando a alcanzar hasta 2,8t/ha, rentabilidad lograda por la implementación de fertilizantes y por las cualidades genéticas del cultivo es decir la variedad de este, mas no por un racional uso del riego, se estima que de realizarse un empleo más eficiente del riego sea posible una disminución del uso de fertilizantes e incremento de la productividad. Un número de las máquinas están destinadas al frijol y al maíz como motivo de sustituir importaciones (Tabla.No1) y a la alta demanda de estos productos por la población santiaguera.

Tabla. No1Sustitución de importaciones.

Cultivos	Total				
	Producción (t)	Precio (MUSD)	Importe (MUSD)	Costos de producción en (MUSD)	Ahorros (MUSD)
Arroz	2295.0	0.3	638.0	204.4	433.6
Maíz	98393.1	0.3	29026.0	1646.0	27380.0
Fríjol	31494.1	1.2	38659.0	19663.5	18995.4
Total	129887.2	1.5	67684.9	21309.5	46375.4

Por otro lado, es evidente un aumento de las áreas bajo riego (Fig.3 y4) con el objetivo de incrementar al máximo la producción, esto acarrea la necesidad de un uso eficiente del riego, generando en los casos de las áreas regadas por pivote central, regar solo cuando sea necesario, mayor rentabilidad de los equipos, aprovechamiento de la lluvia.

Fig.3 Áreas con riego.

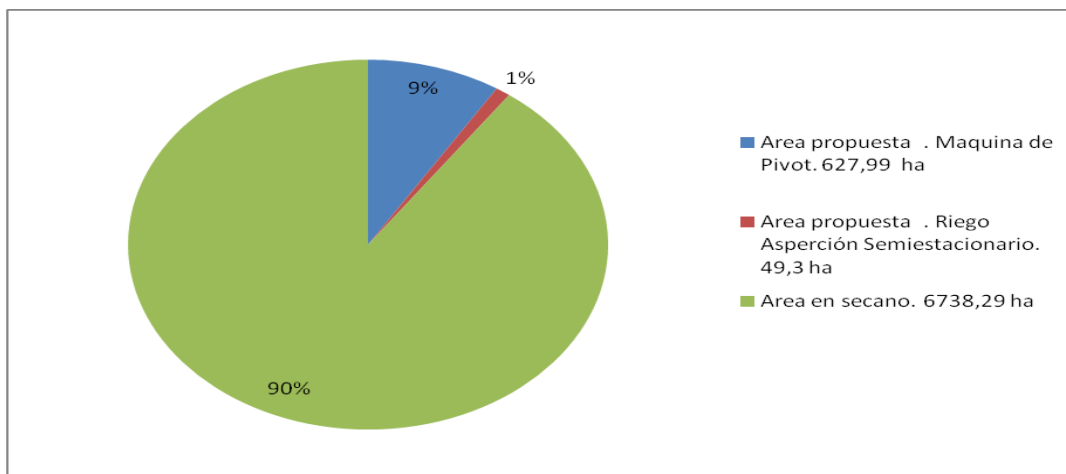
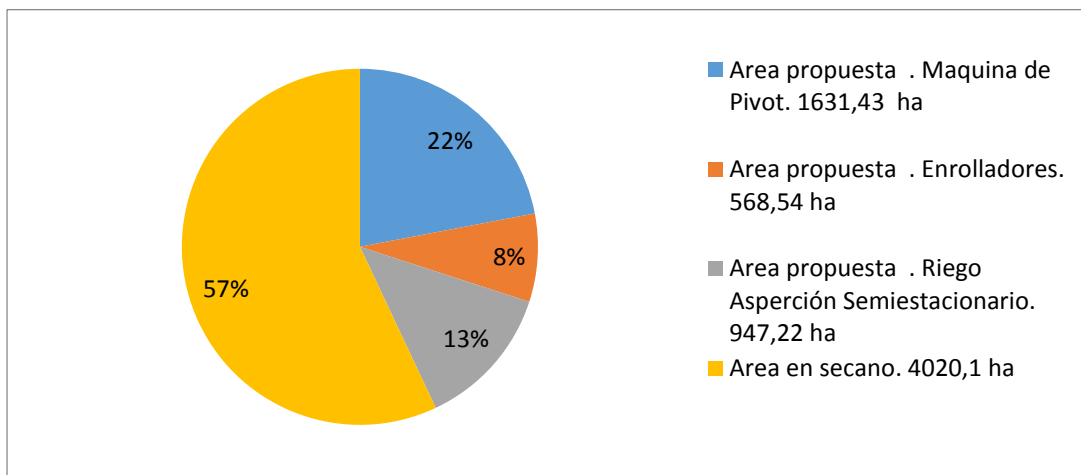


Fig.4 Perspectiva, áreas para riego.



PROBLEMA DE INVESTIGACION:

¿Cómo contribuir a incrementar los rendimientos del cultivo del frijol beneficiado con equipos de pivote central eléctrico en las condiciones de la Empresa Agropecuaria “Laguna Blanca” en la provincia de Santiago de Cuba?

OBJETO DE LA INVESTIGACION:

Abordar los contenidos referidos a la explotación de sistemas de riego por aspersión para el beneficio de cultivos agrícolas y su vinculación con los recursos naturales implicados.

CAMPO DE ACCION DE LA INVESTIGACIÓN:

La utilización de sistemas de riego por aspersión autopropulsados de pivote central y las consideraciones para el manejo del agua de riego en las condiciones específicas de la Empresa Agropecuaria “Laguna Blanca”.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el régimen de riego en el cultivo del frijol con equipos autopropulsados de pivote central en las condiciones de la Empresa Agropecuaria “Laguna Blanca”.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 1º. Caracterizar el estado actual de los contenidos que abordan los procedimientos para determinar el régimen de riego de explotación en los sistemas de riego por aspersión, con énfasis en los sistemas de riego con pivote central eléctrico.
- 2º. Determinar el régimen de riego y ajustar los parámetros de explotación para el cultivo del frijol irrigado con pivote central eléctrico.
- 3º. Establecer el procedimiento para la evaluación técnica de un equipo de riego de Pivote Central eléctrico y proponer recomendaciones para incrementar los rendimientos y mejorar la eficiencia en el uso del agua.

HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION:

Si se ajustan los parámetros de explotación de los equipos de pivote central a partir de los resultados del régimen de riego de explotación se puede ofrecer recomendaciones que contribuyan a incrementar los rendimientos del cultivo de frijol y mejorar la eficiencia en el uso del agua en la Empresa Agropecuaria “Laguna Blanca”.

RESULTADOS ESPERADOS:

Régimen de riego de explotación del cultivo del frijol beneficiado con técnicas de riego de pivote central incluyendo un procedimiento para pronosticar el riego en las condiciones específicas de la Empresa Agropecuaria “Laguna Blanca”.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE DIPLOMA:

La primera parte está constituida por un resumen de los contenidos fundamentales de la tesis, e incluye los objetivos y el alcance de la investigación. Acto seguido los argumentos que justifican la investigación, tanto como su diseño, con el objetivo de dar solución al problema planteado especificando los objetivos a seguir y la hipótesis a demostrar como alternativa de solución a la problemática antes expuesta. El capítulo primero está compuesto por una breve reseña histórica acerca de la evolución e importancia de los sistemas de riego; en la cual es abordado entre otros señalamientos importantes, el origen y desarrollo del pivote central en Cuba. Luego se podrán apreciar sus características generales y componentes, abordando además en las ventajas y desventajas, puntualizando el efecto de la calidad del riego en los sistemas de pivote central respecto al consumo de agua, teniendo en cuenta las consideraciones económicas y problemas que puedan acarrear dichos aparatos, y algunos aspectos importantes a tener en cuenta respecto al cultivo del frijol. En los “Materiales y métodos” o capítulo segundo se encuentra bien detallada la caracterización del área de estudio, haciendo énfasis en su localización, las condiciones naturales como son: características del clima y características del suelo; seguido por las metodologías y procedimientos principales para la evaluación de las máquinas, así como el análisis de los parámetros determinantes del régimen de riego de explotación de dichos instrumentos. Como sucesión se encuentran los factores climáticos a tener en cuenta para su evaluación, los procesos para la determinación de la velocidad de avance de los equipos y así como la uniformidad de aplicación del agua, los procedimientos para determinar la velocidad de avance y los factores climáticos a tener en cuenta para la evaluación de las máquinas de pivote central eléctrico. Finalmente se enfocan las conclusiones de la Tesis, referidas a los objetivos propuestos inicialmente y a la hipótesis planteada, así como las principales recomendaciones que garantizan su continuidad en posteriores trabajos. De igual forma se resumen las principales referencias bibliográficas consultadas, como parte del Objeto y el Campo de acción de la investigación realizada.

CAPÍTULO 1:

Revisión Bibliográfica.

CAPITULO 1.

1.1 Reseña histórica e importancia de los sistemas de riego.

El riego es posiblemente el complejo tecnológico que más influencia ha tenido en la historia de la humanidad. Este permitió dar paso de una cultura de agricultores primitivos a la civilización, es decir a culturas urbanas y a la posibilidad de sostener y conformar grupos de especialistas dedicados a otras innovaciones tecnológicas y temáticas culturales: arquitectura, escultura, pintura, filosofía etcétera, y diversas actividades humanas, incluyendo actos de barbarie humana; tecnológica y social. **(FANDOM, Historia del riego, 6 de marzo 2019)**

Es el primer tipo de agricultura que, en el mundo primitivo, con muy poco material permite la producción de excedente. Los primeros registros de riego en la agricultura se remontan al año 6000 a.C. en Egipto y Mesopotamia (Irán e Irak en la actualidad), cuyos pobladores utilizaban los patrones de crecida del Nilo, Tigris y Éufrates respectivamente. Las inundaciones que ocurrían de julio a diciembre, eran desviadas hacia los campos durante unos 40 o 60 días. Luego se drenaba hacia el río en el momento preciso del cultivo. En el año 3500 a.C. aparece el nilómetro, una medida del agua del río Nilo. Cuatro siglos después en la primera dinastía de Egipto, se construyó el primer proyecto de riego a gran escala, bajo el reinado del rey Menes. Se utilizaron presas y canales para dirigir las aguas de inundación del Nilo hacia el lago Moeris. Mil años más tarde aparecieron las tuberías de barro, cemento y de roca molida. Los famosos acueductos, una invención de los ingenieros romanos que permitía transportar el agua salvando los desniveles del terreno. **(Taxco, Historia ancestral del riego, 6 de marzo 2019)**

El rey babilónico Hammurabi, fue quien elaboró las primeras regulaciones sobre el agua. Tenía en consideración la distribución del agua de una manera proporcional, con base en la superficie labrada, así como la administración colectiva del canal por parte de todos sus usuarios. Por otro lado, en la cultura Azteca destacó el conocido como cultivo por chinampas, que consistía en una construcción de campos elevados dentro de una red de canales dragados sobre el lecho de lago. Así se reciclaban los nutrientes arrastrados por las lluvias. Los mayas, que estaban asentados en la selva tropical, establecieron diferentes técnicas adecuadas para cada tipo de terreno: campos elevados en terrenos inundables y terrenos con desnivel en zonas de excesiva humedad. Construían en terrazas de cultivo sostenidas por muros, así podían modificar la pendiente del terreno, contribuyendo a preservar la humedad y a mejorar la fertilidad del suelo. De la Historia

ancestral del riego antes expuesta, es apreciable una característica común en todas las civilizaciones. En las diferentes épocas y lugares, todas compartían un gran grado de adaptación a las condiciones climáticas y territoriales más adversas. **(Taxco, Historia ancestral del riego agrícola, 6 de marzo 2019)**

El desarrollo de la mecanización y automatización del riego por aspersión con máquinas de pivote central, se ha comportado de manera distinta en los países según su desarrollo industrial, por ello en los países más desarrollados es donde se concentra la mayor cantidad de áreas de regadío mecanizado del mundo **(Gómez, 2015).**

La tecnología actual les permite a los obreros mover los pivotes en cualquier dirección, en el sentido de las agujas del reloj o, al contrario, con o sin aplicación de agua en tanto se muevan. Esto permite operar los pivotes con patrones como los limpia parabrisas de un automóvil, de modo de alternar dentro del círculo entre dos diferentes cultivos con distintos requerimientos de agua y tiempos de riego **(Sistemas de Riego por pivote Central, 2013).**

La implementación de los sistemas de riego ha representado un avance fundamental en la historia de la civilización ya que permiten la producción de alimentos en gran cuantía en lugares en los que su desarrollo natural no sería posible. Constituyen una fuente importante de empleo y un mercado imprescindible para el sustento de casi todos los asentamientos humanos. Representa la fuente principal de aporte de la comida necesaria para el desarrollo pecuario y la producción animal. Sin su existencia sería imposible el aumento desmedido de la población actual.

1.1.1 Métodos de riego más utilizados.

Entre los métodos de riego más utilizados tenemos el de superficie o por gravedad, comprendiendo el riego por inundación, en canteros tradicionales y surcos cortos. El localizado o micro riego, el riego por goteo, por difusores o borboteadores. Riego subterráneo, realizado por control de la profundidad de la capa freática. Diferentes variedades del riego por aspersión, con sistemas estáticos y disposición en cuadrícula, fijos o móviles, con sistemas móviles de cañón o a la sobre carro tirada por enrollador o por cable, y sistema de lateral móvil, pivotante o de desplazamiento lineal. Hay muchos sistemas o formas de riego por aspersión, cada uno con sus características, ventajas y desventajas. Dentro de esta variedad se encuentran los sistemas de riego por Pivote Central, que están entre los sistemas de riego más usados en el mundo. Estos facilitan el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Son

mecánicamente muy fiables y simples de operar. Permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas. La modernización de esta tecnología incluye pivotes eléctricos que utilizan emisores de baja presión colocados en bajantes de polietileno sobre el follaje de los cultivos. Se puede aplicar riegos más frecuentes y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción.

1.1.2 Clasificación de las máquinas de pivote central.

En la actualidad las máquinas de pivote central se clasifican en dos grandes grupos:

Móviles {Tubería móvil (manual o motorizado)}

Fijos {Tubería fija; Permanente (cobertura total enterrada)}

- Una máquina de pivote central móvil: por lo general es de menor tamaño que una fija. Cuando termina un circuito de riego se modifica manualmente en la dirección de las ruedas y luego son tirados por un tractor, desde uno de sus extremos, hasta el siguiente circuito de riego. Se requiere de un alimentador de agua (hidrante) en el centro de cada uno de los circuitos de riego (tuberías enterradas). Estos sistemas son mucho más demandantes de mano de obra que los fijos.

Figura 1.1: Pivote central móvil.



- Una máquina de pivote central fijo: es un sistema de riego móvil, con un lateral que rota sobre un punto fijo o pivote. En este punto fijo se ubica la toma de agua, la que generalmente es bombeada desde una estructura de acumulación ubicada fuera del perímetro.

Figura 1.2: Pivote central fijo.



1.1.3 Características generales del pivote central.

Un pivote central consiste básicamente en una tubería lateral que presenta emisores de agua (boquillas o aspersores) soportada por tensores de acero y torres espaciadas de 30 a 60 m. La tubería lateral encada torre cuenta con un motor y está sentada sobre dos o cuatro ruedas de goma. El conjunto de tuberías, tensores y aspersores entre dos torres se le llaman tramo. En cada torre hay acoples flexibles que conectan las tuberías de dos tramos adyacentes.

El tamaño máximo de los tramos está en función de la tubería, espesor, pendiente y topografía del terreno. El largo de los tramos no tiene por qué ser uniformes y generalmente varía para adecuarse a las dimensiones del campo o para ajustar la altura de los aspersores en terrenos ondulados. Los equipos de tramo largo son, normalmente, más económicos por llevar menos torres. Tienen el inconveniente de que se adaptan peor a topografías onduladas y transmiten más peso al terreno, con el consiguiente riesgo de atascamiento.

El voladizo es una tubería de menor diámetro, con aspersores, suspendida por cables al final de la última torre para aumentar el área regada. Cañones y sistemas de esquinas pueden ser colocados al final del equipo para aumentar el radio mojado o regar en las esquinas. Longitud más común de los pivotes es de 400 m y su vida útil es de 15 a 20 años. La inversión por hectáreas disminuye a medida que aumenta el tamaño del equipo ya que el valor de la máquina

se incrementa en relación directa a su longitud, y el beneficio con la longitud se va a incrementar en relación geométrica.

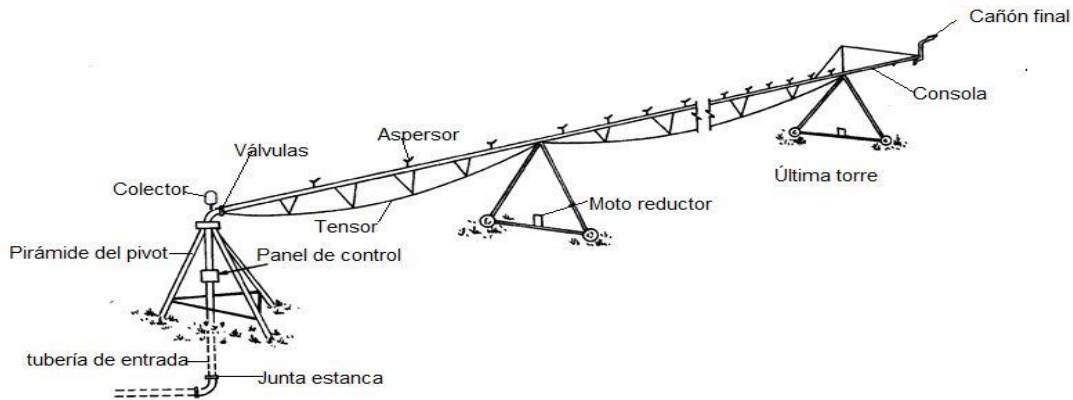
Desde el punto de vista económico, las unidades pequeñas son poco ventajosas puesto que dan lugar a inversiones por hectáreas muy elevadas. Esto es consecuencia de que mientras el costo de la unidad es directamente proporcional a su longitud, ya que el precio del metro lineal es sensiblemente constante, la superficie regada es, prácticamente, proporcional a la misma. El centro del pivote sobre el cual gira, puede estar fijo al terreno en un punto, o puede ser remolcable en aquellas máquinas que se desplazan a diferentes puntos o de forma automática guiados por un cable fijo en el terreno. De esta manera se consigue un mayor aprovechamiento del equipo y solo repercutirá en un ligero incremento de la inversión (2-3 %) por la toma de agua y la energía eléctrica necesaria.

1.1.4 Componentes del pivote central.

- Panel de control: permite controlar el arranque y parada del pivote central, la dirección de avance (adelante/ atrás). La velocidad del sistema define la cantidad de agua que es capaz de liberar la máquina, o sea, si el temporizador se encuentra trabajando al 100% la torre del final estará en continuo movimiento y el sistema allá aplicara la menor cantidad de agua por hectárea (menor norma neta).
- Pirámide del pivote: es la estructura central que permite el giro del sistema. El agua entra por la base del pivote y continúa a través del tubo de suida y del codo giratorio.
- Anillo colector: El anillo colector está formada por anillos de latón apilados y aislados unos de otros, que se mantiene fijos mientras las escobillas giran alrededor transmitiendo la electricidad. De esta forma no se fuerza el cable mientras el sistema está dando vueltas alrededor del campo.
- Tubo en J: Este permite llevar el cable eléctrico desde la base del pivote hasta el anillo colector por el interior del tubo de subida.
- Junta Estanca: Permite el giro.
- Caja eléctrica de la torre y el cable eléctrico de tramo: En cada unidad motriz hay una caja eléctrica. Sus componentes básicos son dos micros (uno de trabajo y otro de seguridad y/o alineación) y un contador de motor. El cable eléctrico que recorre todo el sistema, entrando y saliendo de cada caja eléctrica, está codificado con colores. Este cable de tramo lleva tramos de dos tipos de carga eléctrica, 460/380 voltios para mover los motores de las torres motrices y 120 voltios para control y maniobra.

- Válvulas de compuerta: Permite el paso del agua.
- Tramos: El agua sale del codo giratorio circula a lo largo de una serie de tramos, cada uno de los cuales tiene una unidad motriz para mover el pivote central alrededor del campo. Los tramos arqueados están compuestos por una tubería principal (que puede ser de diferentes diámetros), tirantes y estructuras en formas de V que dan mayor fortaleza y seguridad al conjunto.
- Alineación: En cada una de las torres intermedias hay una varilla de alineación que conecta la base de la caja eléctrica de la torre con el tramo contiguo. Al moverse la última torre, la varilla de la penúltima torre va girando, y detectar desalineación, enciende y apaga el micro de trabajo, activando el motor de la torre para que se mueva hasta alinearse.
- Manómetro: Elemento de control.
- Circuito de control: Cada torre tiene un micro de seguridad. Si por cualquier causa del sistema se sale demasiado de su alineación, el circuito de seguridad para el sistema. Con ello se evitan daños estructurales.
- Cañón final: La utilización o no de este ha sido un tema sumamente debatido en estos tiempos, pero muchos productores se decantan por su utilización ya que si no lo hacen pierden mucha área de riego. Está demostrado en las evaluaciones pluviométricas realizadas en máquinas que utilizan cañones que en los últimos metros reciben menos cantidad de agua; la utilización de cañones requiere de un aumento de presión en el pivote lo que trae como consecuencia una mayor potencia del motor y mayor consumo eléctrico. Por otra parte, en las zonas donde los vientos son fuertes pueden ser capaces de distorsionar el chorro del cañón lo que puede afectar la uniformidad del riego.

Figura 1.3: Componentes del pivote central.



1.1.5 Ventajas y desventajas del pivote central.

Ventajas.

- Se simplifica la entrega de agua al usar el pivote como un punto estacionario.
- El funcionamiento y la alineación son controlados desde un punto fijo en el pivote.
- Se logran relativamente altas uniformidades de aplicación de agua debido al movimiento continuo del sistema de aspersión.
- Después de completar un riego el sistema queda en posición para comenzar el próximo riego.
- Se obtienen buenos manejos de riego y aplicaciones oportunas del agua.
- Se pueden hacer aplicaciones más eficaces y exactas de los fertilizantes y otros productos químicos a través del agua de riego.
- Facilita la operación y hace más factible los planes de desarrollo y manejo eléctrico.
- Los pivotes centrales ofrecen grandes ventajas como: ahorro de mano de obra, amplio rango de intensidades de aplicación que se traduce en la aplicación de diferentes láminas de riego a través del ciclo fenológico del cultivo, suministro rápido de láminas ligeras de riego las cuales son muy benéficas en la germinación de semillas.

Desventajas.

Desde el punto de vista de la aplicación de los Pivotes presentan las siguientes desventajas:

- Dejan un 20 % del agua fuera del círculo sin riego, a menos que se utilicen equipos para regar las esquinas (“corner system”) que resultan muy costoso y complejo.
- La aplicación promedio en la banda exterior del círculo regado es regularmente alta y cuando se utilizan boquillas rociadoras es muy seguro alcanzar pluviometrías sobre los 100mm/h.
- Se pueden emplear bajas y frecuentes aplicaciones en todos los suelos. En los suelos arenosos se reducen o se eliminan los problemas asociados con las altas tasas de aplicación. En casos extremos se pueden evitar, incrementando la velocidad de recorrido de la máquina a una vuelta por día. Esto aumenta las pérdidas totales de evaporación, los costos de mantenimiento del pivote, y el descenso de los rendimientos agrícolas.
- Los pivotes centrales son económicos cuando se instalan en campos grandes (65 ha).
- La presión de operación del lateral se puede modificar significativamente con la pendiente del terreno, lo cual da lugar a variaciones en la descarga a menos que se usen reguladores de presión.

1.2 Origen y desarrollo de los pivotes centrales en Cuba.

A inicio de 1990, se comenzó analizar la necesidad de transformar las viejas máquinas existentes con aspersores de impacto en máquinas con boquillas difusoras de baja presión, esto se debe a la creciente necesidad del ahorro energético, al ahorro de agua y de hacer más eficiente la labor del riego (**Pérez, et al., 2016**).

Al pasar de los años, se aprecian signos de recuperación visibles en el incremento de las nuevas áreas bajo riego (huertos y organopónicos). Sin embargo, el deterioro de los sistemas de riego y la inestabilidad en el suministro de diésel, incidieron en la difícil situación del riego y drenaje, lo que unido a la decadencia de la fuerza técnica no ha permitido explotar eficientemente los sistemas de riego y drenaje. Independientemente de esta situación, el país realiza innumerables esfuerzos para mantener los niveles de áreas bajo riego, lograr un mejor uso del agua y la energía e incrementar las producciones agrícolas. De modo que se trabaja en un programa de Modernización y Electrificación de los sistemas de riego (**Barrabia, 2017**).

Los Pivotes Centrales son máquinas de riego ampliamente utilizados en la Agricultura cubana en cultivos de gran importancia económica. El área bajo riego total con valor de uso según la información obtenida en el Ministerio de la Agricultura al cierre del 2006 era de 389572.16 hectáreas, de las cuales 20250.42 hectáreas se riegan con Pivote Central, representando el 5.20%

del total de las mismas 14287.96 ha son regadas mediante Pivote eléctrico y 5962.46ha por Fregat (accionamiento hidráulico), regando los cultivos del Plátano, Frutales, Tabaco, Pastos y Forrajes, entre otros. Esta técnica riega aproximadamente el 70% del área que se siembra de papa y está situada en los suelos más productivos del país. En la (Figura2.3) se observa la distribución porcentual de las áreas regadas por las diferentes técnicas de riego y en las (Figuras2.4y2.5) por los tipos de pivotes (hidráulico y eléctrico) de acuerdo a las variedades de cultivos regados por los mismos según MINAGRI (2006).

Figura 1.4: Distribución porcentual de las áreas regadas por las diferentes técnicas de riego.

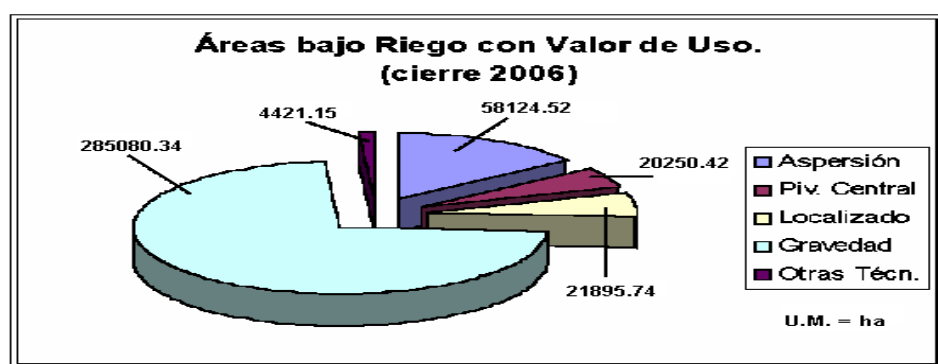


Figura 1.5: Distribución porcentual de las áreas regadas con Pivote Eléctrico por cultivos.

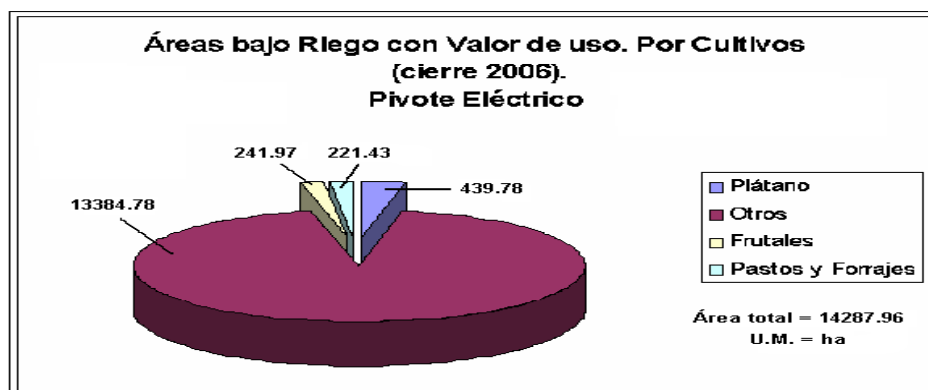
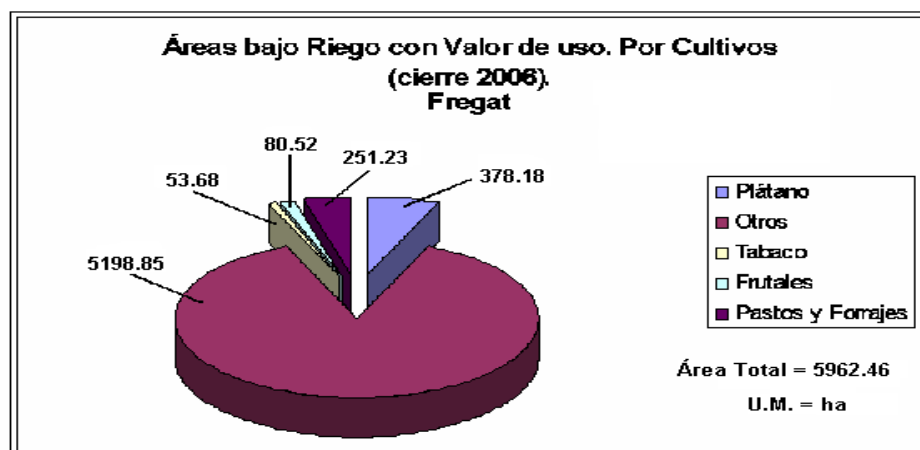


Figura 1.6: Distribución porcentual de las áreas regadas con Fregat por cultivos.



1.3 Recursos naturales implicados en la agricultura de regadíos.

En las últimas décadas, la preocupación por la necesidad y escasez del agua ha cobrado gran importancia. Hoy en día se discute sobre si el agua es un recurso limitado. Pero lo que nadie pone en duda es que se ha de hacer un correcto uso del agua para no agotar las reservas existentes durante periodos de sequía (**Alabanda Parejo, 2001**)

Cada día se hacen más evidentes los impactos regionales debido al cambio climático en América Latina; pueden resumirse en:

Respecto a la temperatura

- Calentamiento por encima de la media global en casi todo su territorio, con comportamientos similares a la media global en su parte sur.

Respecto a las precipitaciones y otras variables

- Disminución de las precipitaciones en casi toda la América Central y en el Sur de los Andes y gran variabilidad en las regiones montañosas.
- Incremento de la reducción de los glaciares andinos.

Respecto a los eventos extremos

- Incremento de la frecuencia e intensidad de eventos extremos, muchos de ellos relacionados con el fenómeno de El Niño, particularmente: eventos intensos de lluvia que causan deslizamientos de laderas montañosas e inundaciones severas.
- Incrementos de la intensidad de los ciclones tropicales en las cuencas del Caribe, entre otros.

Las vulnerabilidades sectoriales son:

Respecto al recurso hídrico

- Incremento en el número de personas que experimentarán estrés hídrico, pudiendo llegar hasta 77 millones en el año 2020.
 - Disminución del escurrimiento proveniente de los glaciares y con ello del suministro de agua para diferentes usos.
 - Disminución de la calidad del agua por efecto del incremento del escurrimiento y de las sequías.
- Los pequeños Estados insulares en desarrollo sufrirán los siguientes impactos principales:

Respecto a la temperatura

- Todas las islas del Caribe, Océano Indico, norte y sur del Pacífico experimentarán un calentamiento que debe ser menor que la media global.

Respecto a las precipitaciones

- Disminución en el Caribe de las precipitaciones del verano, en la vecindad de las Grandes Antillas.

Respecto a los eventos extremos

- Incremento de la intensidad de los ciclones tropicales, blanqueamiento de corales e inundaciones de tierras en zonas bajas.

Teniendo en cuenta el hecho de la interactividad y sinergia de los probables impactos sobre el recurso agua y de éstos con otros componentes sociales, económicos y ambientales, aplicado al contexto cubano, pueden distinguirse los posibles impactos en los recursos hídricos del archipiélago cubano:

1. Cambios en los patrones de comportamiento de las precipitaciones, que es en el caso de Cuba, su principal fuente renovable anual del recurso agua.
2. Modificaciones en la dinámica de la relación hidráulica de los acuíferos costeros con el mar, principalmente en la Llanura Sur de la Isla principal, lo que puede traer aparejado un deterioro de la calidad de las aguas subterráneas presentes en tales formaciones por el incremento de su contenido salino y, en consecuencia, cambios en las cantidades del recurso que pueden estar disponibles para los diferentes usos (abasto a población, agricultura, y otros).
3. Ambos aspectos señalados en los puntos 1 y 2, pueden influir directamente en la disminución relativa de las disponibilidades de agua, tanto superficial como subterránea, haciéndose más agudas dependiendo de su localización. Sin embargo, en términos nacionales, ya hay evidencias de esa disminución, a partir de los nuevos valores de las precipitaciones.

4. Aparición paulatina de zonas con carencias relativas del recurso agua, que en la actualidad no la padecen, quedándose sin satisfacer las necesidades del recurso para la economía, sociedad y la protección del medioambiente. Nuevos y más agudos conflictos en el uso de las aguas embalsadas, principalmente entre su uso agrícola y acuícola, al competir éstos y tener menores alternativas de disponibilidades de agua.
5. Ocurrencia de cambios en la aparición de desastres causados por fenómenos naturales, sobre todo los relacionados con los ciclos de sequías, tanto meteorológica, como hidrológica, hidráulica y socio-económica, con afectaciones al medio ambiente, la economía y la sociedad, así como de la presencia de huracanes, si bien estos últimos tienen como único impacto positivo la recarga del recurso en períodos cortos de tiempo.
6. Cambios complejos en la dinámica de las relaciones de los principales componentes ambientales (agua-suelo-bosques-aguas costeras) en los ecosistemas de mayor interés (cuencas hidrográficas, zonas montañosas, bahías, humedales, zonas costeras y otros), con la ocurrencia de modificaciones en su estructura y características, lo que puede incidir en el aumento relativo de la vulnerabilidad del país ante eventos extremos.
7. Modificaciones a considerar en la actual infraestructura de prevención y protección hidrológica ante eventos de intensas lluvias (canales, diques, aliviaderos) con probables afectaciones también a la economía y a la sociedad, dado los cambios en los patrones de referencia y su incidencia en el diseño original.
8. Incidencia de las variaciones de las disponibilidades de agua, en las condiciones sanitarias y el cuadro epidemiológico general y específico, dependiendo de las características de estos cambios, llegando incluso al aumento de la morbilidad de diarreas agudas (EDA) u otras, como resultado de bajas disponibilidades de agua y problemas con su calidad.
9. En lo anterior puede incluir también, el agravamiento de las condiciones sanitarias de las corrientes superficiales que atraviesan núcleos urbano-industriales y que se emplean como cuerpos receptores de residuales crudos o parcialmente tratados cuestión muy frecuente en todo el territorio nacional, como resultado de la disminución relativa de sus caudales originales y la disminución de sus capacidades de auto depuración naturales.
10. Repercusión de todos estos factores objetivos intangibles, en los hábitos y costumbres del consumo de agua por la población cubana, al manifestarse variaciones de sus referencias actuales, tanto por exceso como por defecto, incrementándose su sensibilidad y vulnerabilidad

ante estos fenómenos. **(García Fernández, Jorge Mario. Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los cambios climáticos)**

En Cuba en su condición insular alargada y estrecha sucede que la mayor parte de la evaporación y evapotranspiración que ocurre en el territorio nacional no precipita dentro del perímetro aprovechable capaz de garantizar el incremento del recurso en el territorio. En las siguientes tablas (Tabla. No 2 Y 3) y gráficos (Fig.1.7) se puede apreciar el comportamiento de las láminas recogidas en las diferentes zonas y cuencas hidrográficas principales del país.

Tabla. No 2 Comportamiento de las precipitaciones según LmH 1961-2000. (García Fernández, Jorge Mario. Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los cambios climáticos)

Año	2004		2005		2006		2007		2008	
Región	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Occidente	1180	82	1846	128	1296	90	1446	101	1583	110
Centro	834	64	1430	109	1235	94	1632	125	1357	104
Oriente	881	69	1258	98	1518	119	1767	138	1316	103
Cuba	949	71	1 492	112	1346	101	1624	122	1408	105

Tabla. No 3 Diferencias por cuencas hidrográficas. (García Fernández, Jorge Mario. Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los cambios climáticos)

Cuenca hidrográfica	1931-1960	1961-2000	Diferencias.
Cuyaguaje	1 637	1 475	-162
Ariguanabo	1 469	1 514	45
Almendares-Vento	1 272	1 446	174
Hanabanilla	2 085	1 986	-99
Zaza	1 484	1 427	-57
Cauto	1 479	1 112	-367
Guantánamo-Guaso	1 181	1 027	-154
Toa	2 468	2 518	50

Figura 1.7: Diferencias por cuencas hidrográficas.



Uno de los sectores más perjudicados es el de la agricultura, donde se aplican la gran mayoría de las reservas de agua existentes. En épocas de sequía, los recortes de agua comienzan por el sector agrícola, causando muchas pérdidas a los agricultores. Muchas son las labores realizadas para solucionar el problema: embalses; mejora de las redes de distribución; trasvases; etc. Sin embargo, muchas de dichas labores escapan de las posibilidades del agricultor, y todas ellas pueden tener pocas consecuencias si en definitiva el agua no se aplica de forma adecuada.

El agua puede ser desperdiciada en las redes de distribución, por lo que reparando éstas se puede evitar la pérdida de cantidades de agua bastante considerables. Sin embargo, el agua también puede perderse en el mismo lugar de aplicación, esto es, en la misma parcela de cultivo. Las pérdidas de agua en el lugar de aplicación se deben a un mal funcionamiento o diseño del sistema de riego y afectan de forma directa al agricultor debido a que están consumiendo más cantidad de agua de la realmente necesaria, afectando negativamente al cultivo. Por ello, es de gran importancia la evaluación de los sistemas de riego. Dichas evaluaciones permiten comprobar el diseño de las unidades de riego y su correcto funcionamiento, detectando los problemas que en dicha unidad se encuentran.

La evaluación de un sistema de riego se centra fundamentalmente en la obtención de una medida de la uniformidad de aplicación del agua de riego y de otros indicadores de comportamiento del riego (eficiencia de aplicación, coeficiente de déficit, etc.). Obtenida tal uniformidad se puede estimar la adecuación del sistema de riego y en su caso detectar los posibles errores que se encuentren en el sistema. En este sentido, el coeficiente de variación, relacionado con la uniformidad del sistema, permite distinguir la influencia de diversos factores en la uniformidad obtenida, permitiendo localizar de esta forma los fallos producidos en el sistema de riego.

(Alabanda Parejo, 2001)

1.4 Evaluación y manejo de los sistemas de riego.

La evaluación de un sistema de riego permite obtener, como se ha mencionado con anterioridad, la uniformidad de aplicación del agua a través del sistema de riego. Dicha medida de la uniformidad puede ser relacionada con diversos parámetros de comportamiento (eficiencia de aplicación, coeficiente de déficit, etc.) a través de una función de distribución. Tal relación permite obtener diagramas de manejo para el sistema de riego en cuestión. Los diagramas de manejo son de gran utilidad debido a que permiten extrapolar los parámetros de comportamiento

a otros valores diferentes de lámina aplicada, determinando de esta forma la lámina más adecuada a aplicar.

Finalmente, se puede establecer una relación entre la uniformidad del riego y los costes debido a un exceso o a un déficit de riego. Dicha relación se establece de igual modo, a través de una función de distribución. El objetivo es obtener las láminas óptimas a aplicar por el sistema de riego evaluado en función de los costes producidos.

1.4.1 Explotación del riego con máquinas de pivote central.

La explotación es la aplicación adecuada del riego, satisfaciendo las necesidades hídricas del cultivo, por ello la introducción masiva de máquinas al país impone un estudio del comportamiento en la entrega de las dosis, partiendo de la revisión de las cartas tecnológicas y la colocación correcta del módulo de emisores, garantizando la calidad de la lluvia artificial.

La calidad del riego por efecto de la modernización de la tecnología ha incidido en un incremento sustancial de los rendimientos en los cultivos. Es por ello que, en el proceso de generalización tecnológica de nuestro país, nos obliga a realizar grandes esfuerzos en el estudio y conocimiento de los parámetros de explotación de las máquinas de pivote central que nos permitan mejorar la explotación y la calidad del riego.

Las pérdidas de agua en el lugar de aplicación se deben a un mal funcionamiento o diseño del sistema de riego y afectan de forma directa al agricultor debido a que están consumiendo mayor cantidad de agua de la necesaria, afectando negativamente al cultivo. Por ello, es de gran importancia la evaluación de los sistemas de riego (Gómez, 2015).

1.4.2 Efecto de la calidad del riego en los sistemas de pivote central respecto al consumo de agua.

La calidad del riego en los sistemas de pivote central se valora por las magnitudes que se obtengan de los parámetros del coeficiente de uniformidad, la uniformidad de distribución y eficiencia potencial en aplicación del agua. **(Tarjuelo y de Juan (1988))**, reportan valores de coeficiente de uniformidad (CU_H) desde el 80 hasta el 97 %, los cuales son altos valores comparados con otras técnicas de aspersión. Todos destacan la importancia de lograr diseños de pivote central con elevados (CU_H) pues ello garantiza la uniformidad de la producción. Coinciden que para alta rentabilidad y sistemas radicales superficiales los valores del (CU_H) deben estar por encima del 88%, para cultivos extensivos de profundidad radical media, entre 82 y 88%, y para frutales y forrajes entre 70 y 82%.

Cuando el valor del (CU_H) decrece también decrece la eficiencia de la aplicación de agua o eficiencia de riego (entendida como la relación entre el volumen de agua almacenada en el suelo y el volumen total aplicado), encontrando que para valores de (CU_H) de 90; 80; 70; 60 %, correspondían valores de eficiencia de aplicación del 88; 76; 64 y 52 % respectivamente.

Cuando el (CU_H) es elevado, también es menor el requerimiento de agua para que los cultivos obtengan un determinado volumen de producción, y su conocimiento es fundamental para optimizar el uso del agua ante la carencia de ella o de otro recurso que limite el riego. Las pérdidas de agua debido a (CU_H) bajos, tienen un costo en más transporte para garantizar mayor cantidad de riegos, mayor consumo de energía, mayor degradación de los suelos, pérdidas de fertilizantes, etcétera.

El conocimiento y dominio de los parámetros de calidad de riego en las máquinas de pivote central permiten conseguir un mayor ahorro de agua, de mano de obra, de energía y de aumentar los rendimientos (**Sabatier, 2014**).

Para mejorar los parámetros de calidad pluviométrica de los pivotes es necesario:

- Efectuar evaluaciones pluviométricas a las máquinas cada dos años o cada vez que haya variaciones en la uniformidad del riego.
- Respetar el autor regulador correspondiente a cada posición.
- Proteger los límites de las máquinas con cultivos de porte alto.
- Dar mantenimiento a los aspersores y protegerlos al finalizar cada campaña de riego, de las inclemencias del tiempo hasta el inicio del otro periodo de trabajo.
- Colocar los sistemas de filtros a la entrada de las máquinas y limpiarlos cuando la presión se reduzca entre 50 y 100 kPa.

1.4.3 Consideraciones económicas de los pivotes centrales.

Los pivotes centrales son equipos altamente costosos que exigen una esmerada operación, un manejo óptimo del agua y una explotación racional e intensiva de las áreas que benefician para cubrir los costos de su compra, instalación y lograr una rentabilidad aceptable. Es importante tener en cuenta que la superficie aumenta con la longitud y la inversión por hectárea disminuye, es por ello que desde el punto de vista económico sea preferible la instalación de grandes longitudes (**Gómez, 2015**).

Por su parte Tarjuelo (2005), señala que la inversión por hectárea regada disminuye al aumentar la longitud del equipo, pero el costo de aplicación del agua que contempla, además, el

mantenimiento; mano de obra, la energía y el agua consumida, permanece prácticamente constante a partir de 50 – 60 hectáreas regadas (400-450 metros de lateral), por crecer en gran medida el costo energético.

Se recomienda para las condiciones de Cuba un hidromódulo de 1,20 l/seg/ha que garantiza las necesidades hídricas del cultivo de la papa en el momento pico, además de obtenerse los mejores resultados económicos tanto para las inversiones como para la operación del riego. Un incremento de 10 metros en la carga del equipo de bombeo incrementa en 20 kW la potencia demandada, el costo del kW-hora aumenta 1,16 USD y la inversión en 63.5 (USD/ha) (**Gómez, 2015**).

Pero el riego con máquinas de pivote central no solo se basa en el costo de la misma, sino también exige tener en cuenta el salario de los trabajadores, la cantidad y precio del combustible destinado para las acciones de labranza de la tierra, valor de los insumos en el mercado para la preparación del área de riego; el costo del transporte y el de instalación de la máquina hasta la zona donde va hacer usada. Se debe tener en cuenta también el costo de la cantidad de agua que se aplica durante el tiempo que se tendrá sembrado el cultivo, debemos contar también con el valor agregado que me añade al costo total la programación del mantenimiento a cualquier componente de la máquina.

Como el costo total de una máquina de pivote central es tan elevado debemos realizar un estudio de la zona donde se va a utilizar, haciendo una buena recopilación de los datos de la velocidad del viento promedio, el tipo de suelo y de las áreas que encontraran bajo riego, para de esta manera poder tomar decisiones técnico-económicas acerca de la ejecución del proyecto de riego.

1.4.4 Problemas que pueden traer las máquinas de pivote central.

Los problemas con las máquinas de pivote central comienzan a manifestarse en los climas cálidos y áridos, con suelos desérticos donde el pH es relativamente alto, ya que el cultivo en estos climas exige una cantidad de agua y el pivote tiene que ofrecer una mayor aplicación hídrica. Los suelos desérticos se caracterizan por presentar bajas tasas de infiltración lo que agrava más el problema.

Otro problema también lo constituye el tamaño del sistema, pues existe un punto de largura en la que la máquina va aplicar la cantidad de agua que necesita el cultivo a una tasa que el suelo aceptará; esta sería la longitud máxima que tendría el pivote bajo estas condiciones. Si este fuera más grande los aspersores suministrarían mayor cantidad de agua y el suelo no sería capaz de

drenarla. La longitud máxima, y por tanto el área cubierta por el pivote estaría definida por las necesidades hídricas del cultivo, y por una limitación física (la velocidad de absorción del suelo). Si la tasa de absorción es baja y la necesidad hídrica es alta solamente hará falta un sistema pequeño para evitar estrés hídrico o escorrentía (**González, 2016**).

1.5 Antecedentes de la evaluación de los sistemas de riego.

1.5.1 Indicadores de comportamiento.

Desde el comienzo de la historia el riego se ha venido aplicando para asegurar las necesidades alimenticias humanas. Con la ausencia de grandes poblaciones, industrias y actividades recreativas no hubo mucha competencia por el agua excepto entre comunidades de regantes que compartían la misma fuente de agua. La principal preocupación era la producción de los cultivos. Los problemas de guiar el agua desde la fuente hacia la planta fueron resueltos técnicamente con cada vez más y mayores obras hidráulicas.

Con el incremento de la competencia, no solo entre comunidades de regantes sino también entre usuarios agrícolas y no agrícolas, nació el concepto de conservación del agua. En la actualidad las necesidades de riego constituyen el mayor porcentaje del total de agua consumida en cada región, por lo que la necesidad de aplicar el agua de riego de manera eficaz ha alcanzado una gran importancia.

Por ello, se han venido estableciendo diversos términos que miden la eficiencia con la que el agua es utilizada para fines agrícolas. La existencia de diversos métodos de riego obliga también a evaluar el consumo de agua en términos de rendimiento y eficiencia. En 1978 la American Society of Civil Engineers (ASCE) en su On Farm Irrigation Committee trató de aclarar tal confusión, pero aún en la actualidad hay grandes discrepancias al respecto. Numerosos artículos relativos a la uniformidad y eficiencia han sido publicados, entre los que destacan los de Merriam y Keller (1978), Bos (1985), Heermann et al. (1990), Wolters (1992) y Wang et al. (1996).

A pesar de la exactitud de los indicadores actuales el comportamiento de un riego era, aún, medido por una serie de parámetros que son definidos de formas muy diferentes cuando se trata de medir el mismo comportamiento. La evaluación de un sistema de riego comprende el estudio de la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación, así como el análisis de todos los elementos del sistema de riego. La estimación de la uniformidad del sistema es el indicador más

importante del buen funcionamiento del mismo, sobre todo en riego localizado. Por tanto, el conocimiento de la uniformidad del sistema es importante por varias razones:

- Desde el punto de vista ingenieril, la estimación de la uniformidad en campo es importante para confirmar si un diseño es o no satisfactorio.
- Desde el punto de vista del agricultor, la estimación de la uniformidad en campo es importante para confirmar el buen funcionamiento del producto.
- Desde el punto de vista del regante, la estimación de la uniformidad en campo es importante cuando se considera la eficiencia de aplicación y calendarios de riegos.

En definitiva, una vez estimada la uniformidad del sistema y confirmado el buen diseño y funcionamiento del mismo, se pueden crear diagramas de manejo de gran utilidad para el regante.

1.5.2. Evaluación de sistemas de riego.

Los estudios sobre evaluación de sistemas de riego han estado encaminados a la obtención de los parámetros de comportamiento del mismo (eficiencia de aplicación, coeficiente de déficit, etc.). Existen numerosas formas de evaluar un sistema de riego y los resultados obtenidos dependerán del método utilizado, el cual será perfectamente válido siempre que se identifiquen con claridad los factores que intervienen en cada parámetro. Sin embargo, siempre se ha tendido a realizar la evaluación de un sistema de riego obteniendo alguna medida de la uniformidad del sistema.

En este sentido cabe destacar la labor iniciada por Christiansen (1942) obteniendo el coeficiente de uniformidad (UC), el cual relacionaba las desviaciones de las láminas de agua aplicadas con la media.

Más tarde, Wu y Gitlin (1974) definieron un parámetro de evaluación conocido como variación del flujo, que relacionaba las medidas de las láminas de agua máximas y mínimas obtenidas. Sin embargo, tal parámetro no tenía en cuenta la uniformidad de las restantes láminas obtenidas. Chaudhry (1976) observó que, para sistemas de riego por aspersión, la conversión de unos indicadores de uniformidad a otros no se podía llevar a cabo sin tener en cuenta el parámetro estadístico de Skewness. Por tanto, era deseable determinar la sensibilidad de los coeficientes de uniformidad al Skewness de la distribución de precipitación.

Por su parte, Kruse (1978) introdujo el concepto de uniformidad de distribución, y en concreto la uniformidad de distribución del menor cuarto, que relaciona la lámina media del menor cuarto con la lámina media obtenida.

Cabe destacar la labor realizada por Bralts et al. (1981 a, b y 1983), proponiendo un método de estimación de la uniformidad en unidades de riego basado en la uniformidad estadística. La principal ventaja de este método radica en la habilidad para establecer límites de confianza en las uniformidades estimadas.

Solomon (1985), observó que el estudio global de la uniformidad en sistemas de riego localizados permitiría considerar una gran variedad de factores que afectan a la uniformidad. Presentó un modelo para ser utilizado en estudios de simulación de la uniformidad global y dio algunas indicaciones acerca de la importancia relativa de los factores que afectan a la uniformidad.

Clemens (1987) observó que dos de las causas que reducen la uniformidad en sistemas de riego localizado eran las variaciones en las propiedades de los emisores y las variaciones de presión en los mismos. Previamente había sido desarrollada una ecuación para evaluar el efecto combinado de tales causas (Bralts et al., 1981a). Se desarrolló un coeficiente de variación hidráulica equivalente, el cual realizaba una estimación más precisa de los efectos combinados. Losada et al. (1992) realizaron una obra que recogía los aspectos fundamentales de los ensayos de sistemas de riego en campo.

Bralts y Wu (1993) describieron la evaluación y el diseño de sistemas de riego localizados basándose en la uniformidad estadística.

Pitts et al. (1996) realizaron una obra para suministrar información a los regantes de cara a mejorar el funcionamiento de sus sistemas de riego.

Por otra parte, Clemens y Solomon (1997a) observaron que, para la mayoría de los sistemas de riego, la forma más práctica de determinar la uniformidad de distribución era mediante el cálculo de la uniformidad resultante de la combinación estadística de varios componentes. Por ello, desarrollaron ecuaciones y procedimientos de cálculo para determinar la uniformidad de distribución a partir de la combinación de varios componentes.

1.6 Caracterización del cultivo, frijol.

Dentro de las leguminosas comestibles, el frijol común es una de las más importantes debido a su amplia distribución en los cinco continentes y por ser complemento nutricional indispensable

en la dieta alimenticia principalmente en centro y Sudamérica. México ha sido aceptado como el más probable centro de origen, o al menos, como el centro de diversificación primaria.

El cultivo del frijol es considerado uno de los más antiguos; hallazgos arqueológicos en su posible centro de origen y en Sudamérica indican que era conocido por lo menos unos 5000 años antes de la era cristiana.

La planta del frijol es anual, herbácea, intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas. Se cultiva esencialmente para obtener las semillas, las cuales tienen un alto contenido de proteínas, alrededor de un 22% y más.

Desde el punto de vista taxonómico esta especie es el prototipo del género. (*Phaseolus*) y su nombre científico es. (*Phaseolus vulgaris* L.) asignado por Linnaeus en 1753.

En Cuba, el frijol constituye un alimento básico de la dieta, no solo por su valor alimenticio, sino por la tradición de su consumo. Aunque se cultiva en todo el país se considera que la zona oriental es la mayor productora y especialmente la zona de Velasco en la actual provincia de Holguín fue considerada por mucho tiempo el granero de Cuba.

Variedades

Existen en el mundo gran cantidad de variedades muchas de ellas se agrupan teniendo en cuenta características de las plantas relacionadas con el tallo. Dentro de estas se pueden mencionar: el color, el tamaño, el número de nudos, el carácter de la parte terminal, el diámetro, la longitud entre nudos, la aptitud para trepar y los ángulos de inserción de diferentes órganos.

Siembra: La más adecuada para el cultivo del frijol es aquella que además de ofrecer las condiciones climáticas para un buen desarrollo del cultivo permite que la cosecha coincida con el periodo de baja o ninguna precipitación, para evitar daños en el grano por exceso de humedad. En Cuba se enmarca entre los meses de septiembre -enero, aunque varía de acuerdo a la variedad. Se considera que la fecha óptima se ubicaran entre el 15 de octubre y 31 de diciembre.

Riego: El agua constituye un factor limitante en la obtención de rendimientos altos y estables en el frijol. En las siembras tempranas (septiembre) las lluvias pueden suplir en gran medida las necesidades hídricas del cultivo, pero cuando se realizan en la época óptima, es necesario aplicar el riego como una acción complementaria y decisiva en la producción. Para mantener en la capa activa del suelo un balance de agua y aire capaz de proporcionar al cultivo, en combinación con las restantes labores agro técnicas las condiciones adecuadas que faciliten la obtención de máximos rendimientos en resumen un régimen de riego óptimo debe:

- ✓ Asegurar el volumen de agua necesario al cultivo durante sus diferentes fases de desarrollo
- ✓ Garantizar la regulación del régimen de humedad, nutricional, de aire y de calor en el suelo.
- ✓ no permitir encharcamientos o salinización en las áreas.
- ✓ Responder a las actividades de planificación y ejecución de las demás tareas.

El régimen de riego de un cultivo lo conforma las normas parciales y totales, la evapotranspiración, la lluvia efectiva, el numero e intervalos, así como el momento de riego (limite productivo). No obstante, cuando no se disponen de condiciones para su cumplimiento se pueden ajustar los mismos tratando de suministrar, aunque sea un riego en los momentos en los cuales el cultivo es más exigente a la humedad.

Drenaje: Independientemente que este cultivo es exigente al riego en algunas etapas de su desarrollo también es susceptible a los excesos de humedad, lo que provoca grandes pérdidas por lo cual hay que prestar una atención preferente a este aspecto fundamentalmente en el drenaje de los suelos de textura media y pesada.

1.7 Conclusiones parciales

- Es apreciable la necesidad del riego como principal aportador de alimentos para países como Cuba ya que debido al cambio climático y a la necesidad de la sustitución de importaciones cada día se va haciendo más apremiante la gestión y distribución de los alimentos.
- El agua es el recurso principal que limita la vida de todas las especies que habitan en la tierra, sin ella no sería posible ninguna actividad propia del ser humano y mucho menos la producción de alimentos. El uso de este recurso natural de manera eficiente es una premisa que rige el desarrollo agrícola de Cuba, el que ha estado limitado en la última década por las grandes sequías que han azotado el Caribe producto al cambio climático. Y siendo este sector el mayor consumidor de mayor demanda ha de tomar medidas encaminadas a un uso más racional.
- Es sumamente necesaria la evaluación técnica de los sistemas de riego como complemento del manejo y explotación de los sistemas de riego ya que contribuye a mejorar la eficiencia del manejo del agua para el riego permitiendo al regante utilizar solo la necesaria para obtener la producción prevista según las necesidades de cada cultivo en particular, lo que se traduce en mayores ganancias con solo el consumo necesario y, la protección y conservación de los recursos hídricos implicados.

- Entre Los procedimientos para realizar la evaluación técnica de los sistemas de riego tenemos los propuestos por, Wu y Gitlin (1974), definieron un parámetro de evaluación conocido como variación del flujo, entre otros propuestos por diversos autores citados anteriormente. El utilizado para evaluar las máquinas de pivote en el área de estudio es el propuesto por la norma cubana NC ISO 11545.

CAPÍTULO 2:

Materiales y Métodos.

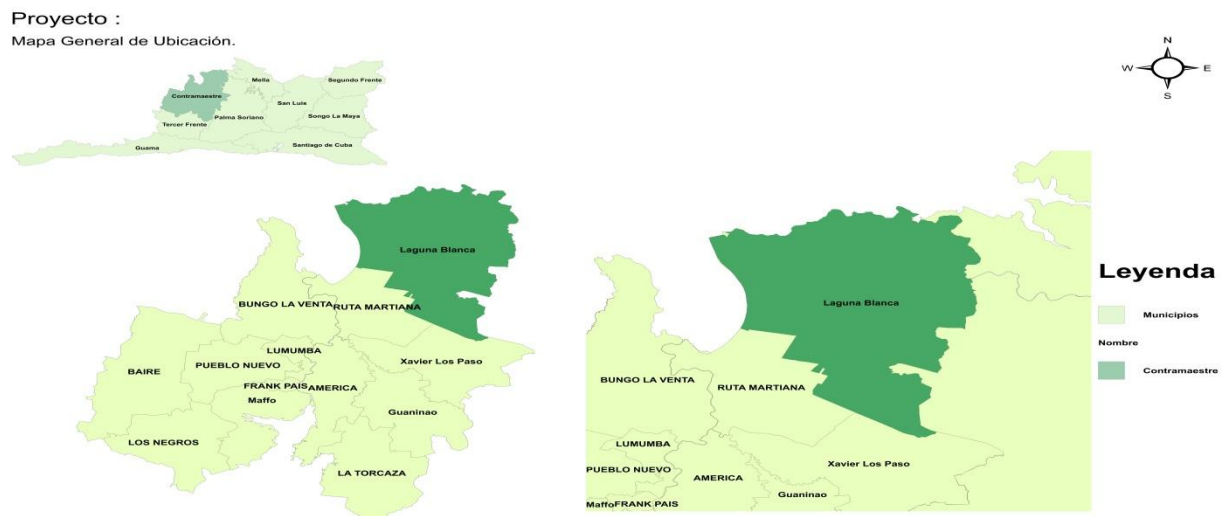
CAPÍTULO 2.

2.1 Descripción del área de estudio.

Localización:

La Empresa Agropecuaria Laguna Blanca se encuentra ubicada al Noroeste del Municipio Contramaestre, limitando por el Norte con la provincia de Holguín específicamente con áreas del Municipio San Germán y canal de caña Santa Elena, ubicada en la Llanura interior del Municipio donde comienza la llanura del Cauto, por el este limita con el Municipio de Palma Soriano y con áreas de caña del CAI Dos Ríos, al Sur con áreas del CAI Dos Río (Caña) y campesinos dispersos, asentamiento el caserío y la Zona de los TITI, al Oeste limita con el Río Contramaestre y la provincia de Holguín.

Figura 2.1 Mapa general Laguna Blanca. Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios (ENPA) UEB Santiago de Cuba. (abril 2019)



La topografía es llana con pendientes uniformes entre 10 y 12%, fundamentalmente en el sentido sur–norte., las coordenadas de ubicación son: Y– 192.00 Hasta 199500 y las X– 562000 Hasta 579300.Cruzada por numerosos arroyos que desaguan en el río Cauto.

En las siguientes tablas se muestran las áreas de riego por cultivo y técnicas de riego:

Tabla. No 4 Balance actual de riego por técnicas y equipos mecanizados por estructuras Productivas.

ESTRUCTURAS	Área Cultivable (ha)	Área Total de Riego	Áreas para granos			Rendt.frijol T/ha
			Total	Riego	Secano	
Área Estatal	866.29	70.00	70.00	13.42		
UBPC (9)	2791.20	932	598.25	598.25		
CCS.(5)	3510.00	1030.12	373.63	150.00	223.63	
Área Total	7167.29	2754.70	1041.88	761.67	223.63	2.605

Tabla. No 5 Existencia de áreas beneficiadas por el riego, por estructuras con máquinas y aspersión por (ha) diciembre 31 de 2018.

ESTRUCTURAS	Área Total	Maquinas	Asp. Sesta	Total
Área Estatal	352,62	129.22		129.22
UBPC Victoria de Girón	573,92	89.70	2.00	91.70
UBPC 4 de Abril	314,20	67.60		67.60
UBPC El Cuartelito	238,88	16.61		16.61
UBPC Cecilio Sánchez	78,46	122.61		122.61
UBPC Juventud del Futuro	99,66	94.26	6.00	100.26
UBPC Jóvenes del Centenario	231,58	43.03	2.00	45.03
UBPC SEMILLERO	39,34	13.42	25.92	39.34
UBPC Total Tacón + Ruta Martiana	327,91	302.46	14.00	316.46
CCS Amado Rosales	851,64	53.09	20.08	73.17
TOTALES	3108.11	932.00	70.00	1002.00

Tabla. No 6 Equipos en el polígono de maquinaria de la empresa.

Equipos	Cantidad
Tractores	32
Implementos	104
Cosechadoras	4
Asperjadora	5
Sembradora fertilizadora	7

2.2 Caracterización

2.2.1 Complejo agua – suelo – planta – clima.

Condiciones naturales:

El conocimiento de las condiciones naturales del territorio influye considerablemente en el rendimiento de los cultivos porque de él depende el manejo agro técnico de los cultivos y su respuesta productiva, lo que es importante para poder determinar el potencial de producción de cada uno de ellos. Es por lo que debemos tener en cuenta para el diseño perspectivo, lo siguiente:

Fuente de abasto:

Canal principal beneficiado por el río Cauto, este brinda servicio la estación de bombeo Arroyo Blanco y está a la empresa objeto de estudio. Cuenta con 6 electrobombas con un gasto unitario de 400.00l/s y una carga de 80.00mca.

Relieve:

En la zona objeto de estudio predomina el relieve llano a ligeramente ondulado.

Suelo:

Los suelos existentes en el área de estudio, correspondiente a la Empresa de Agropecuaria Laguna Blanca, según los estudios realizados por el Departamento de Suelos de la Delegación Provincial de la Agricultura son de categoría agro productiva 2 a la 4, los cuales quedan descritos a continuación:

- Húmico Carbonatico Típico
- Oscuro Plástico Gleyzoso Gris

Húmico Carbonático Típico.

Este tipo de suelo presenta mediana erosión. Textura Arcilla Loamosa y buen drenaje. La profundidad efectiva es de muy poco profundo. La topografía es ligeramente ondulada.

Factores limitantes.

- Poca profundidad efectiva.
- Alto contenido de carbonato.

Oscuro Gleyzoso Gris.

Este tipo de suelo está sustentado sobre materiales transportados, carbonatados de mediana humificación, poco erosionado, presenta un drenaje deficiente. Textura Arcilla Montmorillonítica, presentando fuerte gleyzación, la profundidad efectiva es considerada de muy poco profundo y la pendiente lo describe como un suelo de topografía llana.

Factores Limitantes.

- Mal drenaje
- Alto contenido de arcilla

Planta:

Frijol.(*Phaseolus vulgaris* L.) es un grano que tiene alto valor alimentario, tanto para los humanos como para los animales, existiendo disímiles usos de importancia económica a nivel mundial y constituye un cultivo que rota convenientemente con el frijol; el frijol caupi (*Vigna Unguiculata*) dentro del género de los frijoles es un alto fijador de N (80-100 kg/ha) al suelo, por la presencia de nódulos específicos en sus raíces (*Rhizobium*) por lo que lo hace un cultivo de rotación por excelencia, contiene entre un 22 y un 30% de proteínas en sus granos, tiene además un efecto protector contra la erosión de los suelos por su hábito de crecimiento, puede sembrarse en cualquier época del año aún en primavera (marzo y junio) y tiene relativa tolerancia a plagas y enfermedades, poco exigente a la calidad del suelo aunque no se debe cultivar en los carbonatados. El estudio permite definir adecuadamente, las necesidades de inversiones referidas a la maquinaria agrícola, según los requerimientos de la tecnología y los planes de desarrollo propuestos hasta el 2030.

Características del clima:

Entre los factores que conforman el clima de la zona, las precipitaciones y las temperaturas son de interés para el análisis de los cultivos que se proponen, pues provocan una alta evaporación.

Precipitaciones:

El promedio histórico de la lluvia en esta zona está en el rango de 1200-1400 mm siendo los mayores volúmenes entre los meses de mayo a octubre.

Evaporación:

Anual 64.45mm

Temperatura:**Temperatura Máxima**

31-38 Grado Centígrados

Temperatura Mínima

17-23 Grado Centígrado

Humedad relativa anual:

Humedad relativa anual a las 7 AM es del 96 % y la humedad relativa anual a la 1 PM es del 53 %.

2.2.2 Técnica de riego.**Caracterización del equipo a evaluar.**

Máquina de pivote central marca URAPIVOT perteneciente a la UBPC 4 de abril (Maquina #6).

Tabla. No 7 Características de la máquina.

Nombre de la maquina	Marca	Área (ha)	Velc. Teórica (m/min)	Caudal (L/s)	H (m)	Long. Total (m)	Esp. e/e torres (m)	Long. del Alero (m)	Presión de trabajo (m)	No. de torres
. Maquina #6	URAPIVO T	26.56	3.44	20.55	35	230.00	60.00	25.00	2.5	4

2.3.- Procedimiento para determinar el régimen de riego de explotación.**Régimen de riego del cultivo.**

Cultivo de Frijol. (Phaseolus vulgaris L.)

Variedad:CC-25-9

Area:26.42 ha

Mn=100. H. Da(Cc-Lp)

Ecuación 1.

Suelo: Grupo IV (Húmico Carbonatico)

Cc.-46.25% PSS.

Lp. -0.85 Cc

Da. -1.01g/cm³

Etp=Ev.Kb

Ecuación2.

Int.Riego=Norma Parcial Net

Ecuación3.

Etp

Necesidades de riego período punta.

N- Se toma por datos (en mm/día o L/m² día)

Dosis neta

$$Dn = 10 \cdot Da \cdot H \cdot (Cc - Lp) \text{ mm}$$

Ecuación4.

Donde:

Da- Densidad aparente en g/cm³

H- Profundidad radicular efectiva en cm

Cc- Capacidad de campo en cm³/cm³

Lp- Límite productivo en cm³/cm³

Intervalo entre riegos

$$Ir = \frac{Dn}{N} \text{ días}$$

Ecuación5.

Si da un número decimal, se redondea a valor entero. Por tanto, se recalcula:

$$Dn = Ir \cdot N \text{ mm}$$

Ecuación6.

Eficiencia general de aplicación

$$Ea = EDa \cdot Pe \quad \text{Para máquinas de accionamiento eléctrico}$$

Ecuación7.

$$Ea = EDa \cdot Pe \cdot Pc \quad \text{Para máquinas de accionamiento hidráulico}$$

Ecuación8.

Donde:

EDa- Eficiencia de distribución (da la medida de la falta de uniformidad y percolación profunda)

Pe- La porción efectiva del agua emitida por los emisores, que llega a la superficie del suelo, en valor decimal

Pc- Pérdidas de agua en los cilindros de las torres, en valor decimal

Se determina EDa en función del porcentaje de área regada adecuadamente (a) y el CU:

$$EDa = 100 + (606 - 24.9a + 0.349a^2 - 0.00186a^3) \cdot \left(1 - \frac{CU}{100}\right) \quad \text{Ecuación9.}$$

Esta expresión matemática se expresa en la tabla que está en el anexo 10.

Dosis bruta

$$Db = \frac{Dn}{Ea} \text{ mm}$$

Ecuación10.

Caudal necesario en el origen de la máquina

$$Q = \frac{N \cdot Ir \cdot A \cdot 10\,000}{Ea \cdot t_1 \cdot 3\,600} \quad \text{L/s} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

A- área regada en ha

t₁- tiempo de funcionamiento del equipo para dar un riego en h

$$A = \pi \cdot Lm^2 \quad \text{Ecuación 12.}$$

$$t_1 = T \cdot Ir \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

T- número de horas al día disponibles para regar en h/día

Lm-longitud de la máquina en m

Hidromódulo o Dotación

$$Q_d = \frac{Q}{A} \quad \text{L/s/ha} \quad \text{Ecuación 14.}$$

Donde:

A- área de la parcela en ha

Intensidad máxima

$$Imáx = \frac{28800 \cdot Q}{\pi \cdot AM \cdot Lm} \quad \text{mm/h} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

AM- Anchura mojada en m

2.4 Procedimiento para la evaluación técnica.

2.4.1 Metodología para la evaluación de las máquinas de pivote central.

Las máquinas de pivote central, como otros varios equipos de riego deben ser evaluados por los siguientes objetivos: Verificar los parámetros suministrados por el fabricante cuando este ha sido adquirido y el seguimiento de la calidad del riego en su vida útil (Jiménez, 2011).

Antes de comenzar la evaluación es necesario examinar que el módulo de los aspersores este correctamente instalado de acuerdo a las especificaciones.

- La presión de la máquina debe ser mantenida y ajustada en un rango de $\pm 5\%$ de la presión de ensayo. El elemento de medición de la presión debe ser capaz de realizar estas mediciones con una exactitud de $\pm 2\%$.
- Operar la máquina con una velocidad que entregue una lámina promedio de aplicación de no menos de 15 mm.
- Cualquier dato puntual incorrecto ocasionado por sucesos, tales como: colectores virados, con salideros o con cualquier otro problema deberá ser eliminado, a partir del análisis de distribución de agua. El número de observaciones eliminadas no debe exceder del 3% del total de observaciones; todas las observaciones deben ser anotadas, los motivos de su eliminación.
- Las observaciones más allá del radio de alcance de la máquina deben ser eliminadas de la evaluación.
- Los datos de hasta el 20% de los colectores en la parte interior del alcance total de la máquina pueden ser eliminados del análisis de distribución de agua. Los colectores no necesitan ser colocados en la parte interior del pivote central si la intención de la prueba es determinar la distribución del agua con la parte interior del pivote central eliminada.
- Se deberá utilizar un anemómetro para medir la velocidad del viento; una brújula para ver la orientación de la máquina con respecto al norte geográfico. Un cordel calibrado a distancias de 3 metros, y una longitud total de 200 m; los pluviómetros se colocarán sobre el terreno los cuales indican la calibración.
- Las probetas se utilizan para la medir el volumen almacenado en los pluviómetros y esta información se recoge en los modelos de control específicos para esta actividad.

Figura 2.2: Disposición de los colectores para determinar la distribución de agua de las máquinas de riego de pivote central.



2.4.2 Análisis de los parámetros de explotación en los pivotes centrales.

2.4.2.1 Uniformidad de aplicación del agua.

Coefficiente de uniformidad: para una máquina de pivote central, debe calcularse empleando la fórmula modificada de Heerman y Hein, (1968). La que puede utilizar otros parámetros adicionales de comportamiento para garantizar la uniformidad de distribución del riego.

$$C_{uH} = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - \bar{V}_w| * S_i}{\sum_{i=1}^n |V_i * V_1|} \right] \cdot 100 (\%) \quad \text{Ecuación 16.}$$

Dónde:

C_{uH} - es el coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein en %.

n - es el número de colectores usados en el análisis de los datos.

i - número asignado para designar un colector en particular, normalmente comienza por el colector más próximo al pivote ($i = 1$) y terminando con $i = n$ para el colector más alejado del punto.

V_i - el volumen (o alternativamente la masa o la profundidad) del agua recogida en el colector i .

S_i — es la distancia en que se encuentra el colector del pivote o el área que este representa dentro del área total de la máquina.

$\bar{V}_w$ – es el volumen promedio medido (masa o profundidad) del agua recogida. Se calcula como:

$$\bar{V}_w = \left[\frac{\sum_{i=1}^n S_i * V_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right] \quad \text{Ecuación 17.}$$

Calcule C_{uH} que sea apropiado para cada línea de colectores. Se debe calcular un coeficiente de uniformidad compuesto, usando los datos de ambas líneas.

Se prepara un gráfico que muestre el volumen (masa o profundidad) de agua recogida en cada colector vs la distancia desde el punto de pivote, junto con las posiciones de las torres y de los aspersores.

Coefficiente de uniformidad de Variación: (CU_V), de Bremond y Molle (1995), es un parámetro que incluye el coeficiente de variación dentro del (C_{uH}). Por tanto, es un indicador más sensible a la distribución de la lámina de riego.

$$CU_V = \left[1 - \frac{1}{\frac{\sum V_i * S_i}{\sum S_i}} \cdot \sqrt{\frac{\sum \left(V_i - \frac{\sum V_i * S_i}{\sum S_i} \right)^2 S_i}{\sum S_i}} \right] \cdot 100(\%)$$

Ecuación18.

Dónde:

CU_V , – es el coeficiente de uniformidad de variación en %.

V_i - el volumen (o alternatively la masa o la profundidad) del agua recogida en el colector i.

S_i – es la distancia en que se encuentra el colector del pivote o el área que este representa dentro del área total de la máquina.

Otros parámetros son la Altura media recogida (AMR), Área regada adecuadamente (ARA), Área regada excesivamente (ARE) y el Área regada insuficientemente (ARI), utilizados por (Montero *et al.*, 1997).

$$AMR = V = \frac{\sum_{n=1}^n (V_i * S_i)}{\sum_{n=1}^n S_i}$$

Ecuación19.

Dónde:

AMR-altura media recogida

V_i - el volumen (o alternatively la masa o la profundidad) del agua recogida en el colector i.

S_i – es la distancia en que se encuentra el colector del pivote o el área que este representa dentro del área total de la máquina.

Una vez definido el parámetro AMR se pueden encontrar los valores de área regada adecuadamente (ARA), área regada excesivamente (ARE) y el área regada insuficientemente (ARI) de la siguiente manera:

$$0.85 * (AMR) \leq ARA \leq 1.15 * (AMR)$$

Ecuación20.

$$1.15 * (AMR) < ARE$$

Ecuación21.

$$0.85 * (AMR) < ARI$$

Ecuación22.

Por tanto $ARE + ARA + ARI = 100\%$

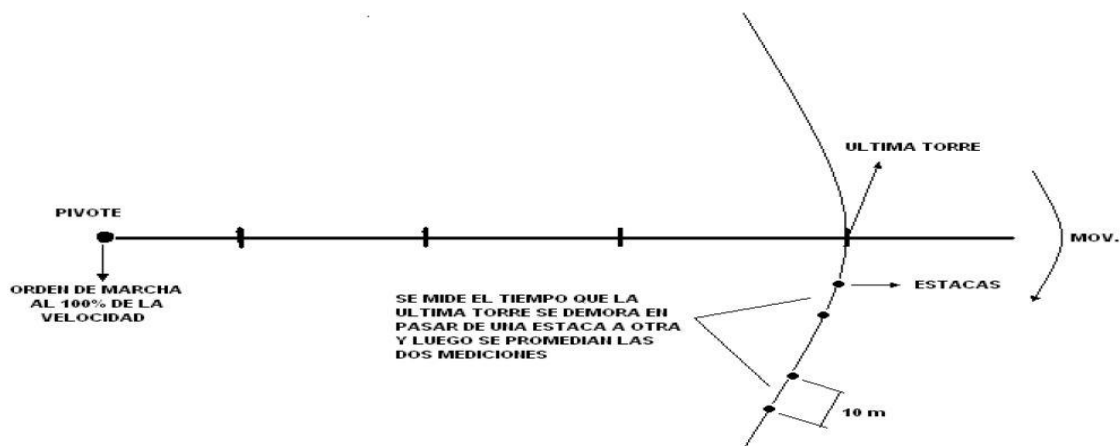
Ecuación 23.

En el cálculo de ARA, ARE y el ARI se partió del criterio que una lectura es representativa de un área en forma de anillo, delimitada por sus dos lecturas vecinas, y que esta área aumenta en la medida que su distancia al pivote es mayor.

2.4.3 Procedimiento para la determinación de la velocidad de avance de los pivotes centrales.

Para determinar la velocidad de avance de la última torre de la máquina de pivote central se procedió de la siguiente forma, en el sentido de movimiento de la última torre por la parte externa a 10 cm de la huella, se comienzan a marcar tramos cada 10 m (3 tramos), que debe recorrer si está regando al 100 % de velocidad. Para ello vamos a tomar como referencia el eje de la rueda y se empieza a medir el tiempo en que recorre cada tramo en minutos y segundos. Calculamos la velocidad dividiendo la distancia recorrida entre el tiempo demorado, expresado en m/min, después se lo convertimos en m/horas para introducirlo en el software PIVOTE de García (2006), con los datos de cada sistema para calcular los parámetros de explotación (Placeres, 2013).

Figura 2.3: Procedimiento para la determinación de la velocidad máxima de la última torre en una máquina de pivote central.



2.4.4 Factores climáticos a tener en cuenta para la evaluación de las máquinas de pivote central.

- Lluvia del emisor: todos los colectores usados en la evaluación deberán ser idénticos y estar moldeados de forma tal que no salpiquen. La abertura del colector debe ser simétrica y sin depresiones. La altura de este debe ser de 120 mm, el diámetro de entrada del colector debe ser de 0.5 a 1 vez de su altura; pero no menos de 60 mm. Se deberán espaciar uniformemente a lo largo de dos o más filas rectas perpendiculares a la dirección del movimiento de la máquina. El espaciamiento del colector bajo cada tubería no debe ser mayor de 3 m para cada boquilla difusora, lo que permite minimizar los errores sistemáticos.
- Velocidad del viento: durante el periodo de evaluación, debe medirse con un anemómetro de rotación u otro dispositivo equivalente. La localización del equipo que mide la velocidad del viento debe estar a una altura de 2 m y dentro de los 200 m del lugar de la evaluación, en un lugar representativo de las condiciones del viento dentro del área de ensayo. El anemómetro debe medir la velocidad umbral, que no debe exceder los 0.3 m/s y debe ser capaz de medir la velocidad real dentro de $\pm 10\%$.
- Evaporación: se recomienda que la evaluación debe realizarse durante los períodos en que disminuye el efecto de la evaporación, tales como la noche o durante las horas tempranas del día. Se mide y se registra en bulbo seco, así como en bulbo húmedo, la humedad relativa o temperatura del punto de rocío, deben ser medidas contra el viento, que sopla hacia la máquina y registrada al principio y al final del ensayo. Se debe anotar además el momento de la medición. Para disminuir el efecto de la evaporación en los colectores durante la evaluación, el volumen de agua en cada colector debe ser medido y registrado lo más pronto posible, después que éste no esté dentro del radio de acción del emisor de agua.
- Elevación: La evaluación, debe ser realizado en un área que tenga diferentes elevaciones que estén dentro de las especificaciones del módulo de aspersión. Las diferencias en la elevación deben medirse con un instrumento capaz de medir en un cambio en la elevación de $\pm 0.2\text{m}$ en unos 50 m de distancia. Se incluyen con los resultados del ensayo un croquis del perfil del terreno a lo largo de cada línea de colecto a menos que el suelo sea llano.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La determinación de la velocidad real de avance en condiciones de campo, permitirá ajustar la explotación de las máquinas de pivote central, aplicando normas de riego más precisas en función de la demanda hídrica del cultivo en cada fase del período vegetativo.

La programación del riego efectuada por la Empresa Agropecuaria Laguna Blanca, está basada en intervalos fijos con normas fijas, con mal aprovechamiento de la lluvia, esto conlleva aplicar un número de riego y volúmenes de agua mayores.

La programación de riego basada en intervalos y normas variables, permite un mayor aprovechamiento del recurso agua, aumentando la eficiencia en el uso de la misma en función de la demanda hídrica del cultivo en cada fase del período vegetativo, lo que contribuye a atenuar los efectos adversos de la sequía agrícola.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realice la evaluación de las máquinas, y corregir las cartas tecnológicas de estos equipos que permita una mejor explotación de los mismos.
- La implementación de la programación del riego utilizando la hoja de cálculo del pronóstico de riego por el Sistema Informativo para Regantes (SIR) estableciendo intervalos y normas variables para el mejor aprovechamiento del agua y los recursos energéticos.
- Que se capacite el personal que opera estos equipos que incide en la mala operación y roturas de las máquinas.
- Que se activen las estación agro-meteorológica en la empresa que facilite el aprovechamiento de los datos climáticos en la zona para realizar el pronóstico de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-**Heermann, D.F.; Hein, P.R.** (1968), *Performance characteristics off self-propelled center-pivote sprinkler irrigation system. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v11, n.1, p11-15.*

-**Alemán, G.C.** “Calidad del Riego y Eficiencia del Uso del Agua en los Pivotes Centrales”. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental.* v.12, n.2, p. 22-26, 2001.

-**Alemán, G. C.** Estudio de factores que limitan la eficiencia técnica y económica de los pivotes centrales. Tesis presentada en opción al grado científico de maestro en ciencias en la especialidad de Riego y Drenaje. I.S.C.A.H - I.I.R.D. C. Habana, 1996.

.**Tarjuelo, J. L. y A. de Juan:** El pivot, una máquina de riego por aspersión. Riego y Drenaje. 24 pp. 67-95, 1988.

-**ALABANDA PAREJA, J.S;** Trabajo profesional de fin de carrera “Evaluación y manejo de sistemas de riego”. Dpto. de agronomía. Universidad de Córdoba, 2001.

-**FANDOM, Historia del riego.**

Disponible en : http://riegoydrenaje.fandom.com/es/wiki/Historia_del_Riego

Consultado: 6 de marzo 2019.

-**Taxco, Historia ancestral del riego.**

Disponible en: http://riegoydrenaje.fandom.com/es/wiki/Historia_del_Riego

Consultado: 6 de marzo 2019.

-**García Fernández, Jorge Mario.** Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los cambios climáticos.

Disponible en:

[http://www.portales.org/sites/default/files/migrated/docs/Sobre_las_medidas_de_adaptación_d_e_los_recursos_hídricos_cubanos_ante_el_impacto_del_C.C_\(Jorge_Garcia\).pdf](http://www.portales.org/sites/default/files/migrated/docs/Sobre_las_medidas_de_adaptación_d_e_los_recursos_hídricos_cubanos_ante_el_impacto_del_C.C_(Jorge_Garcia).pdf)

Consultado: 5 de abril 2019.

- NC ISO 11545: 2005.** Máquinas agrícolas para riego – Pivotes centrales y máquinas de avance frontal equipadas con boquillas difusoras o aspersores – determinación de la uniformidad de distribución del agua. (ISO 11545:2001, IDT).
- Sabatier Corrales, Y.,** El cambio del módulo de aspersión en los pivotes a partir de un criterio económico., in Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Hidráulico. 2014, Centro Universitario "José Antonio Echeverría": La Habana.
- Placeres Miranda, M.S.Z.J., M.Sc. Esequiel; Domínguez, Dr.C Miguel; Guzmán, Tec Joaquín; Sanchez, Tec. Yoel.,** *Determinación de los parámetros de explotación de las máquinas de pivote central, en las provincias Artemisa y Mayabeque, para satisfacer la dosis necesaria en los cultivos.* 2013. Vol. 3 No.1: p. pp 3-7.
- Pérez Leira, R.C.L., Jorge F.; López Casteñs, Gilberto; Alemán García,** Calendario; **Alfonso G, Eduardo J,** *Un estudio de la evaluación de la aplicación del riego en sistemas por pivote central.* 2016.
- Gómez Acosta , O.,** *Evaluación de la influencia del módulo de boquillas en la calidad del riego en las máquinas de pivote central.,* in *Tesis presentada en opción al título de Especialista en la Explotación de Sistemas de Riego y Drenaje.* 2015, Universidad de Ciego de Ávila: La Habana.
- Barrabia Izquierdo, O.,** *Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para el manejo del riego por pivote central en la Empresa de Cultivos Varios " Valle del Yabú".* Trabajo de Diploma. Departamento de Ingeniería Agrícola. 2017, Unversidad Central "Marta Abreu" de Las Villas: Santa Clara.
- autores, C.d., *Sistemas de Riego por pivote Central.* 2013.

ANEXOS

Anexo.1 Datos lluvia 2018

DR/

INRH
 INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS

Empresa de Aprovechamiento Hidráulico
 Total Anual 1030.2 mm

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 INFORME ANUAL DE LLUVIA DIARIA

Provincia: Santiago de Cuba

No. CONTROL: 1382

NOMBRE: Jaguay Blanco

AÑO: 2018

DIA	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	DIA	JUL	AGO	SEPT	DIA	OCT	NOV	DIC	DIA
1				1	4.0		1	3.5			1	14.5			1
2		11.0		2	4.0		2	8.6			2				2
3				3	8.0		3	4.0			3				3
4				4	5.0		4				4	26.0			4
5				5			5	5.5			5	10.3			5
6	4.5			6	4.0		6	24.0	8.0		6				6
7	35.0			7			7				7				7
8				8	5.0		8	20.5	2.0		8				8
9				9			9				9				9
10	6.0			10	10.0	32.5	10				10		6.8		10
11	3.0			11		35.0	11				11	5.0			11
12				12		4.0	12				12				12
13				13		5.0	13				13		6.5		13
14				14			14				14	9.0			14
15			23.8	15			15	6.0			15	15.3			15
16				16	12.0		16			24.8	16	8.0	3.0		16
17				17			17		32.0		17	4.0			17
18				18			18				18				18
19				19			19				19				19
20				20		4.5	20				20				20
21	2.0			21		12.0	21				21				21
22				22	8.5	8.3	22				22				22
23	1.0			23	46.5		23	42.5	3.0		23		3.1		23
24				24			24	18.2			24				24
25				25	21.2		25		16.0		25				25
26				26			26	23.9	23.0	3.0	26	22.5			26
27				27			27				27				27
28				28			28			3.5	28				28
29				29			29		2.2		29	4.0			29
30				30	56.0	32.0	30	19.0		10.0	30				30
31				31			31				31				31
T	57.5	11.0	23.8	153.2	210.0	0.0	253.2	91.2	41.3		114.6	2.0	16.4		
Max	35.0	11.0	23.8	56.0	46.5	0.0	24.0	32.0	24.8		22.5	4.0	6.8		
D/II	6	1	1	2	14	-	11	7	4		7	2	3		

Paz
 dad del Agua
 Fecha:

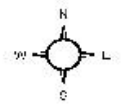
Anexo.2 Datos lluvia 2017

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS INFORME ANUAL DE LLUVIA DIARIA											
Empresa de Aprovechamiento Hidráulico						Provincia: Santiago					
Total Anual 1342.4 mm						No. CONTROL: 1382					
						NOMBRE: Jaguay Blanco					
						AÑO: 2017					
DIA	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV
1				28.5				2.0		3.0	
2							4.5			3.0	
3											
4	4.0						8.2				
5								25.3			
6								5.5			
7									21.5	5.8	
8								6.2	3.0	7.0	
9									8.2		
10											
11											
12		2.0							12.2	83.8	8.2
13											
14											
15											
16			32.0			13.0				5.6	
17						21.3					
18						6.2					
19						13.2					
20						2.0					
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
T	2.0	5.5	34.3	123.2	133.8	230.2	103.9	120.0	248.2	132.2	52.2
Max	4.0	3.2	32.0	58.0	32.0	21.2	25.8	32.0	83.8	44.5	34.0
D/II	2	2	3	11	11	6	9	10	10	7	6

Anexo.3 Mapa general y Micro localización de Laguna Blanca.

Proyecto :

Microlocalización de la Empresa Agroforestal Laguna Blanca



Leyenda

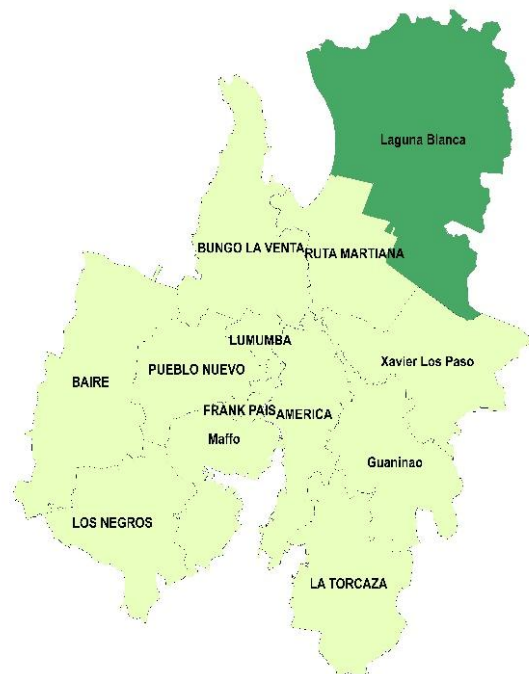
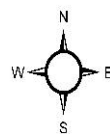
Camino

EL PLANO HA SIDO APLICANDO LA GEOMÁTICA
SISTEMA DE COORDENADAS: UTM
SISTEMA DE ALTURAS: SRTM30
DIBUJADO: WILLINGTON ALFONSO MARR BATISTA
CONTROL TÉCNICO: ELAISA RODRIGUES

1:200
0 0,01 0,02 0,04 0,08 Km
1 CM = 2 M

Proyecto :

Mapa General de Ubicación.



Leyenda

- Municipios
- Nombre**
- Contramaestre

EL PLANO HA SIDO APLICANDO LA GEOMATICA
 SISTEMA DE COORDENADAS: Cuba Sur
 SISTEMA DE ALTURAS: Siboney
 DIBUJADO: WILLINGTON ALFONSO MARR BATISTA
 CONTROL TECNICO: ELAISA RODRIGES

Anexo.4 Bomba de la máquina No 6



Anexo.5 Taller de maquinaria Laguna Blanca.



Anexo.6 Polígono de maquinarias Laguna Blanca.



Anexo.7 Polígono de maquinarias Laguna Blanca.



Anexo.8 Polígono de maquinarias Laguna Blanca.



Anexo.9 Foto de una máquina de pivote central en Laguna Blanca.



Anexo.10 Parámetros para el diseño del riego por aspersión.

TABLA 2.1. Parámetros para el diseño del riego por aspersión

Coef. Unif. CU %	Coef. Varia. CV	Pará- metro	Fracción de área adecuadamente regada (a) en porcentaje										
			99,9	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
99,9	.00125	EDa	.996	.998	.998	.999	.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		Fa	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.999
		Ra	.996	.998	.998	.999	.999	.999	.999	.999	.999	.999	.999
		Hd	.000	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
98	.251	EDa	.923	.959	.968	.974	.979	.983	.987	.990	.994	.997	1.000
		Fa	1.000	.999	.999	.998	.997	.996	.995	.994	.993	.991	.990
		Ra	.923	.958	.967	.972	.976	.979	.982	.984	.986	.988	.990
		Hd	.001	.011	.012	.013	.014	.015	.016	.017	.018	.019	.020
96	.0501	EDa	.845	.917	.936	.948	.958	.966	.974	.981	.987	.994	1.000
		Fa	1.000	.999	.997	.996	.994	.992	.990	.988	.985	.983	.980
		Ra	.845	.916	.933	.944	.952	.959	.964	.969	.973	.977	.980
		Hd	.019	.022	.024	.026	.028	.030	.032	.034	.036	.038	.040
94	.0752	EDa	.768	.876	.903	.922	.937	.949	.961	.971	.981	.991	1.000
		Fa	1.000	.998	.996	.993	.991	.988	.985	.982	.978	.974	.970
		Ra	.768	.875	.900	.916	.928	.938	.946	.953	.959	.965	.970
		Hd	.028	.032	.036	.039	.042	.045	.048	.051	.054	.057	.060
92	.1003	EDa	.690	.835	.871	.896	.915	.932	.947	.961	.975	.987	1.000
		Fa	1.000	.997	.994	.991	.988	.984	.980	.975	.971	.965	.960
		Ra	.690	.833	.867	.888	.904	.917	.928	.938	.946	.953	.960
		Hd	.038	.043	.048	.053	.056	.060	.064	.068	.072	.076	.080
90	.1253	EDa	.613	.794	.839	.870	.894	.915	.934	.952	.968	.984	1.000
		Fa	1.000	.997	.993	.989	.984	.979	.974	.969	.963	.957	.950
		Ra	.613	.791	.833	.860	.880	.897	.910	.922	.932	.941	.950
		Hd	.047	.054	.060	.066	.071	.075	.080	.085	.090	.095	.100
88	.1054	EDa	.535	.753	.807	.844	.873	.899	.921	.942	.962	.981	1.000
		Fa	1.000	.996	.991	.986	.981	.975	.969	.962	.955	.948	.940
		Ra	.535	.749	.800	.832	.856	.876	.892	.906	.919	.930	.940
		Hd	.056	.060	.072	.079	.084	.091	.096	.102	.108	.114	.120
86	.1755	EDa	.458	.711	.775	.818	.852	.882	.908	.932	.956	.978	1.000
		Fa	1.000	.995	.989	.983	.977	.970	.963	.955	.947	.939	.930
		Ra	.458	.707	.767	.804	.832	.855	.874	.891	.905	.918	.930
		Hd	.066	.075	.084	.092	.099	.106	.112	.119	.126	.133	.140
84	.2005	EDa	.380	.670	.743	.792	.831	.865	.895	.923	.949	.975	1.000
		Fa	1.000	.993	.987	.980	.973	.965	.957	.949	.939	.930	.920
		Ra	.380	.666	.733	.776	.809	.835	.856	.875	.892	.906	.920
		Hd	.075	.086	.096	.105	.113	.121	.128	.136	.144	.152	.161
82	.2256	EDa	.303	.629	.711	.766	.810	.848	.882	.913	.943	.971	1.000
		Fa	1.000	.992	.985	.977	.969	.960	.951	.941	.931	.921	.910
		Ra	.303	.624	.700	.749	.785	.814	.839	.860	.878	.895	.910
		Hd	.087	.097	.108	.118	.127	.136	.144	.153	.162	.170	.181
80	.2507	EDa	.225	.588	.679	.740	.789	.831	.869	.903	.937	.968	1.000
		Fa	.999	.991	.982	.973	.964	.955	.945	.934	.923	.912	.900
		Ra	.225	.582	.667	.721	.761	.793	.821	.844	.865	.883	.900
		Hd	.094	.108	.120	.132	.141	.151	.161	.170	.179	.190	.201

Fuente: Tarjuelo (2005)