

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**Evaluación de la realización del riego en el cultivo del  
frijol en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”**

**Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrícola**

**Berenice Milagros Abreu Ceballo**

**SANTA CLARA**

**2015**

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**Evaluación de la realización del riego en el cultivo del  
frijol en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”**

**Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrícola**

**Diplomante: Berenice Milagros Abreu Ceballo**

**Tutor: Dr. C. Omar González Cueto**

**SANTA CLARA**

**2015**

*PENSAMIENTO*  
*PENSAMIENTO*

*La calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado de un esfuerzo de la inteligencia.*

*John Ruskin.*

*AGRADECIMIENTOS*  
*AGRADECIMIENTOS*

*A:*

*mí papá, por su apoyo durante toda mi vida estudiantil,*

*mí mamá por hacer todo lo posible en mi formación como profesional,*

*todos mis familiares y amigos por su apoyo, presencia y su amor infinito brindado en todo momento, en especial a Caridad Mayara Sosa y Osvaldo Díaz Abreu,*

*a mi tutor por todo el tiempo dedicado, por el valor de sus orientaciones y aclaraciones,*

*todos los trabajadores de la UBPC-3 "Jesús Menéndez", en especial a Blas Armenteros y Garcías,*

*todos los que de una forma u otra me han ayudado y brindado su apoyo.*

*Una vez más, ¡gracias a todos!*

*DEDICATORIA*  
*DEDICATORIA*

*A todos aquellos que soñaron y me ayudaron para que me  
hiciera ingeniera*

*A mi tutor por la atención, y la ayuda que me ofreció en todo  
momento*

*A la Revolución cubana por darme la oportunidad de  
superarme y tener un futuro, de ser alguien en la vida.*

*RESUMEN*  
*KEZONWEN*

**Resumen:**

El presente trabajo se realizó en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC-3) “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”, ubicada en el municipio Santa Clara, provincia de Villa Clara. El trabajo se llevó a cabo en el mes de enero del 2015. Tiene como objetivo evaluar la realización del riego en cultivo del frijol en las condiciones de la UBPC “Jesús Menéndez”, así como caracterizar las condiciones de producción del frijol “Velasco largo”. Se determinaron los principales parámetros relacionados con la programación del riego y se obtuvo la aplicación de agua realizada al cultivo por la UBPC. Los resultados mostraron que la humedad lograda en el suelo mediante el riego se encuentra dentro del límite del agua fácilmente aprovechable por la planta y por lo tanto favorecen el desarrollo de la planta, sin embargo se aplican normas de riego muy altas que pueden provocar afectaciones al rendimiento del cultivo y pérdida de suelo por escorrentía superficial.

**Abstract:**

This work was done in the Basic Unit of Cooperative Production (UBPC-3) "Jesus Menendez" belonging to the Agricultural Enterprise "Valle del Yabu" located in the municipality of Santa Clara, Villa Clara province. The work was carried out in January 2015. It aims to evaluate the performance of irrigation in bean crops in the conditions of the UBPC "Jesus Menendez" and characterize the conditions of production of beans "Velasco largo". The main parameters related to irrigation scheduling and water application to the crop made by the UBPC were determined. The results showed that the soil moisture achieved by irrigation is within the limit of the water easily usable by the plant and therefore favor the development of the plant, however, very high water application of irrigation that may cause damages to crop yield and soil loss in runoff.

*TABLA DE CONTENIDOS*  
*TABLE OF CONTENTS*

## Tabla de contenido

|   |     |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN.....   | 1   |
| CAPÍTULO I. SITUACIÓN ACTUAL DEL TEMA .....   | 7   |
| 1.1 Generalidades del riego .....   | 7   |
| 1.1.1 Riego por aspersión.....  | 9   |
| 1.1.2 Clasificaciones de los sistemas por aspersión .....   | 10  |
| 1.1.3 Sistemas de riego de pivote central .....   | 11  |
| 1.2 Generalidades sobre el cultivo del frijol .....   | 13  |
| 1.3 Riego del frijol .....  | 13  |
| 1.4 Cosecha.....  | 14  |
| 1.5 Coeficiente del cultivo del frijol (Kc).....  | 15  |
| 1.6 Factores que afectan el rendimiento.....  | 16  |
| 1.7 Propiedades del frijol.....   | 17  |
| 1.8 Valor nutricional.....  | 17  |
| CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 19  |
| 2.1. Obtención de las variables climáticas.....   | 19  |
| 2.2. Evaluación de la calidad del agua de riego.....  | 19  |
| 2.3. Determinación de las necesidades hídricas del frijol .....                                   | 20  |
| 2.4. Evaluación de la planificación del riego realizado por la UBPC. ....                         | 24  |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 265 |
| 3.1. Caracterización de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” .....  | 265 |
| 3.2. Comportamiento de las variables climáticas.....  | 265 |
| 3.3. Resultados de la evaluación de la calidad del agua de riego.....                             | 28  |
| 3.4. Determinación de las necesidades hídricas del cultivo .....                                  | 29  |
| 3.5. Evaluación del riego realizado al cultivo del frijol por la UBPC-3 “Jesús<br>Menéndez” ..... | 31  |
| CONCLUSIONES .....  | 35  |
| RECOMENDACIONES.....  | 36  |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....   | 37  |
| ANEXOS .....  | 38  |

*INTRODUCCIÓN*  
INTRODUCTION

## **INTRODUCCIÓN**

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

La superficie regable de Cuba para el año 2000, considerando los factores del clima, suelo y los recursos hídricos disponibles, incluyendo las necesidades de los cultivos y las eficiencias de las diferentes técnicas de riego utilizadas, se estima en 2 700 000 ha. Un incremento en la superficie regable de Cuba sería sólo posible con un aumento en la eficiencia en los sistemas existentes.

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

Como componente importante del programa hidráulico cubano se desarrolló la industria de regadío. En tal sentido, el país cuenta con una fábrica de sistemas de riego por aspersión semiestacionario y portátil, a partir de tuberías de aluminio. Posee una industria para la fabricación de máquinas de pivote central y otras dos industrias con una capacidad de producción anual de 40 000 km de tuberías de materiales plásticos y accesorios, así como una planta para producir emisores y accesorios de riego localizado, válvulas y dispositivos de automatización del regadío.

Si bien es cierto que la crisis económica que se inició en 1990 ha provocado daños de consideración en el desarrollo hidráulico cubano, ha existido en los

últimos años una política activa encaminada a la generación y transferencia de tecnologías en riego y drenaje.

Más concretamente, se trabaja en el perfeccionamiento de la tecnología de riego para aumentar la eficiencia del riego y el ahorro de combustible. Se está introduciendo el láser en la tecnología de nivelación de tierras y construcción de sistemas de riego y drenaje. Se trabaja en el perfeccionamiento del riego superficial, el drenaje agrícola y la recuperación de suelos salinizados. Se introduce y desarrolla el riego por pulsos en los sistemas de riego superficial. Las tendencias actuales en las técnicas de riego por aspersión están dirigidas a la transformación de máquinas de riego de pivote central de accionamiento hidráulico a eléctrico y la adquisición de tecnologías de baja intensidad de aplicación y tiempos largos de puestas (Rey, 1998).

El agua es vital en la producción de cultivos ya que el crecimiento de las células vegetales se produce por acción del agua. La falta de este elemento provoca una menor área foliar, menor fotosíntesis y como consecuencia una menor producción (Doorenbos, 1986).

Según Allen (1998) se hace necesario determinar una programación de los riegos para responder a las siguientes interrogantes ¿cuándo se ha de regar? y ¿cuánta agua aplicar?, para lo cual es imprescindible conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona. Puede ser una herramienta para lograr diversos objetivos, como conseguir la máxima producción, mejorar la calidad de los productos, desarrollar todo el potencial de la instalación del sistema de riego, ahorrar abonos, reducir la contaminación ambiental, etc.

La influencia del cultivo es importante puesto que las necesidades de agua serán mayores o menores en función del tipo de planta y de su estado de desarrollo. De la misma forma, las raíces de un cultivo ocupan diferente profundidad del suelo en distintas fases dentro del ciclo por lo que la cantidad de agua disponible en esa zona de suelo varía con el estado del cultivo.

La capacidad de cada suelo para retener agua también es diferente, lo que implica que tanto la cantidad de agua a aplicar con el riego, como la que pueden extraer las plantas puede variar mucho. A ello hay que añadir que las necesidades de agua serán también dependientes del clima, radiación solar,

viento, precipitación, etc., por lo que es preciso conocer las características climáticas de la zona y del cultivo para programar adecuadamente los riegos.

Es preciso tener en cuenta que la práctica del riego no es algo independiente sino que está íntimamente ligada al resto de las prácticas de cultivo en que este se desarrolla. Establecer el tiempo de riego en base a las cantidades de agua que requiera el cultivo y al sistema de riego que se usa. O sea cuánta y con qué frecuencia se debe aplicar agua a los cultivos.

El frijol común es la leguminosa más consumida en el mundo. En la actualidad se producen alrededor de 18 millones de toneladas anualmente, en ambientes tan diversos como América Latina, norte y centro de África, China, EUA, Europa y Canadá. Dentro de estos, América Latina es el mayor productor y consumidor, liderado por Brasil, México, Centroamérica y el Caribe (FAO, 2005).

Puentes (1994) plantea que el frijol contiene tantas calorías por unidad de peso fresco como los granos cereales, la leche desnatada y la soya y casi el doble que la carne, el pescado y los huevos. Con base en peso fresco igual, el contenido de proteínas del frijol común es superado solamente por la soya y la leche desnatada en polvo y es más del doble que el de grano cereal. Además, es una buena fuente de carbohidratos y contiene un porcentaje relativamente bajo de grasas, es una fuente de vitaminas del complejo B, posee un adecuado contenido de minerales Ca, Fe, por otra parte su valor energético es elevado. En cuanto a su aporte energético, los granos secos de frijoles suministran aproximadamente en igual medida que los cereales, pero contienen además una pequeña parte de grasas y una abundante gama de vitaminas y minerales García (1997). Es por estas razones que el frijol común constituye la leguminosa alimenticia más importante para cerca de 300 millones de personas, que, en su mayoría, viven en países en desarrollo, debido a que este cultivo, conocido también como "la carne de los pobres", es un alimento poco costoso para consumidores de bajos recursos. El frijol se considera como la segunda fuente de proteína en África oriental y del sur y la cuarta en América tropical (CIAT, 2001).

En Cuba el frijol común forma parte básica en la dieta del cubano que los consume casi diariamente, constituyendo la fuente de la quinta parte de las proteínas totales consumidas. Se estima que en Cuba se produjeron en el año

2002 unas 119800 toneladas de frijol. Esta producción a pesar de ser superior a la de la década anterior no satisface la demanda nacional requiriéndose la importación de alrededor de 70 077 toneladas en el mercado internacional (FAO, 2005).

García (2003) señala que la producción nacional de frijol está a cargo fundamentalmente del sector no estatal, que ha estado cobrando importancia en la producción en los últimos años. La producción de frijol por este sector sucede en condiciones muy diversas y de bajos insumos agroquímicos pues el frijol no se encuentra dentro de los insumos priorizados oficialmente y no recibe asignación de agroquímicos por el estado cubano. En estas condiciones la producción de frijol enfrenta problemas de bajos rendimientos relacionados fundamentalmente con la baja fertilidad de los suelos, la sequía y las afectaciones por plagas y enfermedades.

En Cuba el Ministerio de Agricultura MINAGRI (2007) establece el período de siembra entre septiembre 10 y enero 15, donde se cuente con regadío. Se establecen algunas regulaciones en cuanto al uso de las variedades en relación a la fecha de siembra, sin embargo en la lista oficial de variedades comerciales para el 2006 se relacionan 33 variedades comerciales de este cultivo, pero sin diferenciar el uso de las mismas en función de la época de siembra.

En experimentos realizados por Quintero (2007) con un grupo de variedades de frijol, en diferentes épocas de siembra se refleja que, disponiendo de riego adecuado, se obtienen los mayores rendimientos cuando la siembra se realiza en noviembre y diciembre (época intermedia). La siembra temprana (septiembre y octubre) aporta rendimientos inferiores a la intermedia debido, fundamentalmente, a la pérdida de plantas por exceso de humedad del suelo, a la mayor incidencia de enfermedades fungosas del pie de la planta (*Rizoctonia* y *Sclerotium*) y a la mayor incidencia de tizones bacterianos. En las siembras tardías (enero y febrero) los rendimientos también decrecen. En este caso los principales factores que influyen son la incidencia de roya (*Uromyces phaseoli*) y la elevación de la temperatura en la fase reproductiva de la planta, lo que impide los procesos de fecundación y retención de las legumbres.

Según Valladolid (1998) el riego es una práctica indispensable para alcanzar altos rendimientos y mejorar la calidad del grano. Las leguminosas son cultivos

sensibles al déficit como al exceso de agua. Se les debe aplicar entre 2 y 5 riegos, dependiendo de la textura del suelo. Los suelos franco arenosos requieren más de 3 riegos, los suelos arcillosos entre 1 y 2 riegos. Los riegos deben ser ligeros y frecuentes utilizando surcos, nunca se debe regar al pie de la planta para evitar compactación de la zona de la raíz. En las etapas más sensibles al déficit de agua conocidas como etapas críticas; son las etapas de desarrollo vegetativo, prefloración y llenado de vainas.

En la Empresa Agropecuaria, “Valle del Yabú”, ubicada en la provincia de Villa Clara, municipio Santa Clara, hace aproximadamente 12 años se inició la instalación de máquinas de pivote central eléctricas, las cuales, han logrado un incremento en los rendimientos agrícolas. El cultivo del frijol es uno de los principales beneficiados con esta tecnología en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”. Este cultivo se encuentra en suelo pardo con carbonato, estos son profundos con un nivel medio de plasticidad, por lo que dificulta el drenaje produciendo encharcamientos, de forma que un riego excesivo puede ser suficiente para dañar el cultivo. Por lo tanto, se hace necesario hacer una evaluación de la realización del riego para determinar si los requerimientos hídricos del frijol están siendo satisfechos.

A partir de estos elementos se fundamenta esta investigación que tiene como:

**Objeto de la investigación:** Necesidades hídricas del cultivo del frijol.

**Problema Científico:** ¿Cómo evaluar la realización del riego en el cultivo del frijol “Velasco Largo” en las condiciones de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”?

**Hipótesis:** Si se determinan las necesidades hídricas del frijol “Velasco Largo” para las condiciones de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” se podrá evaluar si el riego aplicado a este cultivo satisface los requerimientos hídricos de este.

**Objetivo general:** Evaluar la realización del riego en el cultivo del frijol “Velasco Largo” en las condiciones de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”.

**Objetivos específicos**

1. Obtener las variables climatológicas que influyen en la realización del riego del cultivo del frijol “Velasco largo” en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” durante el período enero – marzo de 2015.

2. Evaluar la calidad del agua empleada durante el riego del frijol “Velazco largo” en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”.
3. Determinar las necesidades hídricas del frijol “Velazco largo” en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”.
4. Evaluar la realización del riego del frijol “Velazco largo” en la UBPC-3 “Jesús Menéndez”.

*CAPÍTULO I*  
*СЪВЪЛОГО I*

## **CAPÍTULO I. SITUACIÓN ACTUAL DEL TEMA**

### **1.1 Generalidades del riego**

La agricultura es siempre el mayor usuario de todos los recursos hídricos puesto que absorbe alrededor del 70% del consumo mundial. La agricultura de secano se practica en un 80% de las tierras arables y la agricultura bajo riego en 20%, produce el 40% de los cultivos alimenticios del mundo (Calvache, 1998).

La humedad del suelo es una variable clave en muchas investigaciones agrícolas, hidrológicas y meteorológicas. En la agricultura con un conocimiento previo de las condiciones de humedad del suelo se puede establecer la frecuencia de riego, obtener una adecuada producción de cultivos y un buen tratamiento químico Hanson (1998). En otros aspectos investigados por Entekhabi (1994), Giacomelli (1995) y Jackson (1996), la humedad está vinculada con el control de intercambio de agua y energía entre la superficie del suelo y la atmósfera mediante la evaporación y la transpiración.

La humedad del suelo es una variable de estado fundamental en la dinámica de disímiles procesos y fenómenos naturales. Ello unido al desarrollo de nuevos métodos de estimación de esta variable a diferentes escalas en espacio-tiempo, ha conllevado al empleo de técnicas de asimilación que permitan mejorar sus estimaciones.

El manejo apropiado del riego requiere la evaluación de parte del agricultor de sus necesidades de riego en base a medidas de varios parámetros físicos del suelo. Algunos productores utilizan equipo sofisticado mientras que otros se basan en métodos empíricos o en el sentido común. Cualquiera que sea el método usado, cada uno tiene sus propios méritos y limitaciones. El agricultor generalmente se hace dos preguntas al desarrollar una estrategia para el manejo del riego: “¿Cuándo regar?” y “¿Cuánta agua aplicar?”.

Un método que se usa comúnmente para determinar cuándo regar es monitorear la disminución de agua en el suelo. Cuando una planta crece, utiliza el agua del suelo alrededor de su zona de raíces. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego o el cultivo comienza a estresarse por falta de agua. Si

no se aplica agua, la planta continuará haciendo uso de la poca humedad que queda hasta que finalmente utilice toda el agua disponible en el suelo y muera de sed (Martin, 2001).

Según Jensen (1990) cuando el perfil del suelo está lleno de agua y alcanza lo que se llama *capacidad de campo (cc)*, se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible o a aproximadamente 0,1 bares de tensión. La tensión es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua: a mayor retención de humedad, más alta es la tensión. En el punto de capacidad de campo, cuando existe una tensión de solo 0,1 bar, el agua no es retenida fuertemente por las partículas del suelo y es fácil para las plantas extraer el agua. A medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta.

La determinación de la humedad del suelo por medio del tacto ha sido utilizada por muchos años por investigadores y agricultores por igual. Al apretar la tierra entre el pulgar y el dedo índice o al exprimir la tierra en la palma de la mano, se puede obtener una estimación bastante aproximada de la humedad en el suelo. Toma un poco de tiempo y algo de experiencia lograr esto, pero es un método comprobado (Bell, 2005).

La variabilidad climática, en especial la variabilidad en la ocurrencia en intensidad de las precipitaciones, según plantean Lapinel (1988) y Centella (1997) constituye un desafío creciente para el manejo hídrico eficiente de los suelos. Las evidencias observacionales indican que el clima de Cuba se ha hecho más cálido, y este incremento de la temperatura ha estado acompañado de una reducción del total de precipitaciones anuales del 10 al 20%, y un aumento de la variabilidad interanual del 5 al 10%.

En Cuba, plantea Cisneros (2005), el riego y el drenaje son imprescindibles para tener producciones de calidad, es por ello que no podemos renunciar a su ejecución. Por otra parte la mecanización masiva del riego, mediante la extensión de las máquinas de pivote central y otras, aunque logran elevadas productividades de áreas regadas por hombre, muestran signos de poca efectividad agrícola y baja eficiencia en el uso del agua, que están relacionadas generalmente a su empleo incorrecto y al desconocimiento del modo de operar

estas tecnologías. Una de las vías para mejorar esta situación es a través de los Servicios de Asesoramiento al Regante (SAR).

La gestión adecuada de los recursos hídricos establece la necesidad del desarrollo de modelos de toma de decisiones que ayuden al uso eficiente del agua y la energía en el regadío, al ser este el mayor consumidor de agua. Los Servicios de Asesoramiento al Regante se crean, como se conoce, con el objetivo de fomentar un manejo conservacionista de los regadíos. Ante el hecho evidente de que no son las infraestructuras el principal problema ambiental que causa el regadío, sino los efectos propios de la transformación, condicionados por el manejo que se haga del riego, resulta fundamental establecer una serie de medidas correctoras durante la fase de utilización de las obras con el fin de racionalizar, desde el punto de vista medioambiental, la explotación del regadío (Tarjuelos, 2001).

El principal objetivo de la programación del riego es proveer, de forma oportuna, la cantidad de agua apropiada a la planta para prevenir las pérdidas de rendimiento y la calidad de los productos agrícolas. Para determinar la cantidad óptima de agua a aplicar durante el riego se deben conocer los requerimientos hídricos de los cultivos, los cuales dependen de la interacción entre el clima (temperatura, velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa y pluviometría), suelo (textura, propiedades físicas e hídrica, etc.), y características propias de la plantas (variedad, porcentaje de cobertura del cultivo, sistema radical, etc.) (Proaño, 2004).

### **1.1.1 Riego por aspersión**

El objetivo de todo riego mediante aspersión es lograr la mayor uniformidad y eficiencia posibles en la aplicación de agua. Este objetivo deriva de la creciente demanda de los escasos recursos hídricos disponibles (Orellana, 2007).

El sistema de riego por aspersión distribuye el agua en forma de lluvia, mediante aspersores que giran alrededor de un eje por la fuerza de la presión hídrica. Los aspersores van conectados a una tubería, denominada ala de riego y sobre tubos elevadores verticales, que disipan la turbulencia adquirida por el agua al pasar de la tubería al aspersor. No precisa ninguna preparación previa del suelo y su eficiencia en la aplicación del agua es superior a los riegos por

superficie. Se recomienda cuando existe poca disponibilidad de agua, una alta o baja velocidad de infiltración del agua, una excesiva parcelación o un relieve accidentado. No es adecuado en zonas de fuertes vientos, ni con agua salina en cultivos cuyas hojas se dañen al quedar las gotas en ellas. La intensidad de la lluvia no debe superar la capacidad de infiltración del suelo, para no encharcarlo (Keller, 1988; Cisnero, 2002).

El elemento clave en este sistema de riego es el aspersor. Existe una gran variedad de aspersores; los más empleados son los denominados de impacto, doble boquilla y media presión. La combinación entre el tipo de boquilla y presión es lo que determina el tamaño de las gotas. No son deseables las gotas demasiado grandes ni demasiado pequeñas. Las grandes tienden a compactar el terreno o producir daños en las hojas, mientras que las pequeñas ocasionan una mala uniformidad y eficiencia, al ser muy sensibles al viento y vaporizarse con rapidez (España, 2009).

Según Calvache (1998) estos equipos tienen sus ventajas ya que pueden ser utilizados con facilidad en terrenos con pendientes pronunciadas; se puede dosificar el agua con una buena precisión; no afecta el material vegetal sometido a riego, ya que se elimina la presión que el agua puede ofrecer a las plantas; y como es homogénea su distribución sobre el material vegetal, el riego de la vegetación por aspersion es total y se distribuye suavemente el agua sobre toda el área deseada. Como desventaja se incluye que el consumo de agua es mayor que el requerido por el riego por goteo; siendo este muy importante en cada caso de riego. Se necesita determinar bien la distancia entre aspersores, para tener un coeficiente de uniformidad superior al 80%.

### **1.1.2 Clasificaciones de los sistemas por aspersion**

Según Tajuelo (2005), resulta conveniente clasificar los sistemas de aspersion en función de la movilidad de los diferentes elementos del sistema, ya que facilita la comprensión de su funcionamiento y puede dar idea de los gastos de inversión necesarios.

Los sistemas de riego por aspersion pueden agruparse en dos grandes familias:

- Los estacionarios, permanecen fijos mientras riegan.
- Los de desplazamiento continuo mientras realizan la aplicación de agua.

Dentro de la primera familia están los sistemas móviles, donde todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede serlo la bomba.

Los sistemas semifijos suelen tener fija la red de tuberías principales, que normalmente va enterrada y la tomas y los hidrantes donde se conectan los ramales de riego son móviles.

Estacionarios: móviles: –tubería móvil (manual o motorizada)

Fijos: -tubería fija

-permanente (cobertura total enterrada)

-temporales (cobertura total área)

Desplazamiento continuo: Ramales desplazables: pivote central

(desplazamiento circular)

Aspersores gigantes: - Lateral de avance frontal

- Ala sobre carro

- Cañones viajeros

- Enrolladores

### **1.1.3 Sistemas de riego de pivote central**

Las máquinas de pivote central están entre los sistemas de riego más populares en el mundo. Ellas han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de irrigación no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersion tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico González (2006). En Cuba la expansión de esta técnica ha permitido estabilizar las grandes producciones de papa, viandas y hortalizas sobre los suelos de mejores condiciones desde el punto de vista agrícola. Para el 2012 se instalaron en el país pivotes eléctricos de diferentes firmas comerciales que utilizan emisores de baja presión colocados en bajantes de polietileno sobre el follaje de los cultivos.

El sistema de riego de pivote central recibe su nombre por su movimiento circular alrededor de un punto central, sobre el que pivota. Es uno de los sistemas más eficientes para regar y para inyectar fertilizantes líquidos. Su capacidad para regar tanto en terrenos ondulados como llanos, convierten al

pivote central en el sistema más significativo en la agricultura desde la invención del tractor Traxco (2013).

Los sistemas de pivote central riegan superficies de grandes dimensiones de forma circular. Se emplean en sitios donde el agua es un factor fuertemente limitante. También en campos donde se desea aumentar la eficiencia del riego, aprovechando mejor el agua y aumentando fuertemente los rendimientos de los cultivos. La eficiencia en el riego por pivote es de un 85% a 90%. Es un sistema que se adapta a las ondulaciones del terreno, es decir que no necesita ser plano en su totalidad. Dependiendo del fabricante y del diseño del equipo se pueden utilizar en terrenos con hasta un 30% de pendiente.

Los conceptos y los tiempos de riego descritos son válidos también para la aspersión con pivotes centrales. El uso hídrico total de la planta es casi el mismo, independientemente del método de riego. Los pivotes centrales deberían aplicar aproximadamente 2,5 cm de agua en cada rotación. Hay investigaciones que han demostrado que el rendimiento se puede aumentar con riegos ligeros y frecuentes. Hay que programar el riego teniendo en cuenta la parte del campo que será regada más tarde. Posteriormente, la humedad del suelo se comportará como una fuente suplementaria de agua. Es muy importante llenar el perfil de humedad del suelo pronto, porque puede resultar más difícil cuando el cultivo esté en su uso máximo de agua. Como los campos donde riega un pivote son a menudo grandes, puede haber una enorme diferencia en los tipos de suelo dentro de una misma parcela. Es importante supervisar todo el campo bajo riego pivote, para un uso del agua óptimo y para obtener el máximo rendimiento (Santa y Valero, 1993).

El sistema de riego de pivote central consiste en una tubería montada sobre ruedas, la cual gira en un desplazamiento radial con centro en un punto fijo en el cual recibe el agua por un tubo soterrado o una motobomba. Durante cada sucesivo pase (un giro completo), el equipo aplica una lámina igual de agua a todo lo largo del tubo. Para lograr esto, las secciones, a medida que están más alejadas del centro de la máquina, entregan mayor cantidad de agua que las que le anteceden, pues su recorrido es mayor. Cada sección, conocida como torre dispone de una armazón dotada de ruedas la cual sostiene el tubo elevado a una altura que depende del cultivo. Las ruedas se accionan por medio de un mecanismo que funciona con la misma presión del agua de riego.

Los campos de riego son circulares y de grandes dimensiones, lo cual a veces dificulta su mecanización y la diversidad de cultivos (Ríos, 2011).

## 1.2 Generalidades sobre el cultivo del frijol

*Phaseolus vulgaris* es la especie más conocida del género *Phaseolus* en la familia Fabaceae, con unas cincuenta especies de plantas, todas nativas de América. Es una especie anual, que se cultiva en todo el mundo. Existen numerosas variedades y de ella se consumen tanto las vainas verdes como los granos secos. El frijol prospera en climas fríos y cálidos, tiene variedades trepadoras y enanas. Se cultiva en suelos no muy salinos, con índice medio de lluvias. Se cultiva en lugares donde el calor del sol llegue al tallo de la planta. Aunque admite una amplia gama de suelos, los más indicados son los suelos ligeros, de textura silíceo-limosa, con buen drenaje y ricos en materia orgánica. En suelos fuertemente arcillosos, muy calizos y demasiado salinos vegeta deficientemente, siendo muy sensible a los encharcamientos, de forma que un riego excesivo puede ser suficiente para dañar el cultivo, quedando la planta de color pajizo y achaparrada.

Los valores de pH óptimos oscilan entre 6 y 7,5, aunque en suelo arenoso se desarrolla bien con valores de hasta 8,5. Si el suelo es ligero y arenoso, se añade una cantidad abundante de turba húmeda, abono o estiércol maduro. Si el drenaje no es bueno se forma un cúmulo o montecito y se siembra en su parte superior. Si el suelo es muy ácido se agrega cal (García, 1998).

Con el propósito de evaluar los rendimientos y los comportamientos de plagas en el cultivo del frijol, unas 72 variedades del grano serán sembradas por primera vez en la central provincia de Ciego de Ávila, territorio seleccionado para el experimento. Los plantíos les permitirán valorar a los expertos del Ministerio de la Agricultura en Cuba, un grupo de parámetros en el cultivo de la legumbre, obtener semillas de alta calidad para elevar los niveles de producción y sustituir importaciones (Saavedra, 2010).

## 1.3 Riego del frijol

El cultivo del frijol es muy exigente en riegos en lo que se refiere a la frecuencia, volumen y momento oportuno. Estos van a depender del estado fenológico de la planta, así como del ambiente en que se desarrolla (tipo de

suelo, condiciones climáticas, calidad del agua de riego, etc.). De dos a cuatro días antes de sembrar conviene dar un riego para facilitar la siembra y la germinación de las semillas. Después de la siembra el primer riego solo deberá darse después de la nascencia de las plantas. En los primeros estados de desarrollo conviene mantener el suelo con poca humedad, sin embargo las necesidades de agua son muy elevadas poco antes de la floración y después de esta. Un exceso de humedad puede provocar clorosis y pérdida de cosecha, especialmente en suelos pesados. Un aporte hídrico desequilibrado disminuye la calidad de los frutos (Arellenz, 1998).

Hay que posponer cualquier riego hasta que los niveles de humedad del suelo descendan a un 50% de la capacidad de agua disponible. Una planificación adecuada en tiempo y cantidad de agua evitará el sobrieriego para que las raíces se desarrollen fuertes y sanas. Los frijoles responden mejor en suelos con un buen contenido de oxígeno; los riegos pesados y frecuentes reducen el oxígeno del suelo. Un mayor número de riegos no asegura un mayor rendimiento.

Los frijoles se cultivan habitualmente con un espaciamiento entre surcos de 55-85 cm. En el riego por surcos, el espaciamiento de 55 cm es adecuado con suelos de textura media y pesada. Los suelos de textura gruesa pueden exigir surcos de 55-75 cm. Los frijoles madurarán pronto si hay humedad abundante durante el crecimiento vegetativo y si el último riego tiene lugar cuando las primeras vainas se están llenando. El riego al final de temporada tiende a retrasar la fecha de madurez. Una vez que los frijoles se han comenzado a secar, la planta ya no absorbe más agua. La relación entre el riego y la madurez de la planta es un factor importante con cultivos plantados tarde y/o con variedades tardías (Santa y Valero, 1993).

#### **1.4 Cosecha**

Cuando las vainas cambian a un color verde amarillento, las plantas se arrancan y se enrollan para terminar su secado y efectuar la trilla. Si ocurren lluvias cuando las plantas se encuentren arrancadas en el terreno, es necesario voltearlas para acelerar su secado y evitar el manchado del grano.

En experimentos realizados, se ha demostrado que la calidad del grano, en términos de tiempo de cocción y de color de la testa, es adecuada cuando la

cosecha se realiza a más tardar hasta 10 días después de la madurez fisiológica, y se trilla en menos de 15 días después de la cosecha. Cuando el frijol se deja en la planta por periodos prolongados después de que se alcanza la madurez fisiológica, o bien, si después del corte tarda en trillarse, ya que además del grano, se oscurece el color y se incrementa el tiempo de cocción (García, 2001).

### 1.5 Coeficiente del cultivo del frijol ( $K_c$ )

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que van desarrollándose, desde la siembra hasta su madurez. Debido a las variaciones en las características del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, el  $K_c$  cambia a través del ciclo vegetativo. La Figura 1 representa de manera simplificada dichos cambios (Doorenbos, 1977; Annandale y Stockle, 1994). El  $K_c$  de los cultivos agrícolas está determinado a partir de trabajos de investigación. Están normalizados para la condición de crecimiento óptimo y máxima producción.

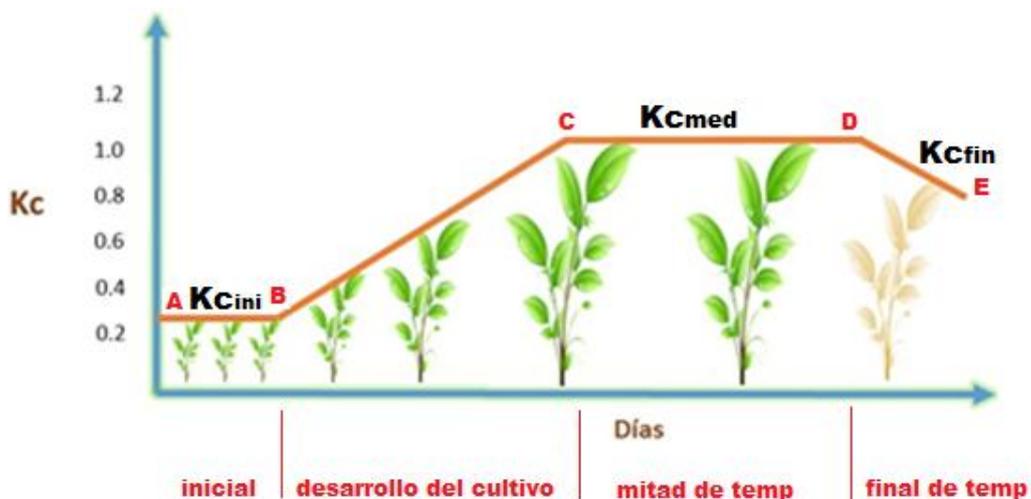


Figura 1. Curva generalizada del coeficiente de cultivo  $K_c$  (FAO, 1977).

Algunos autores han obtenido diferentes valores de  $K_c$  para el cultivo del frijol, por ejemplo FAO (1977) refiere que el frijol para 0.18 días iniciales tiene un  $K_c$  ini de 0,40, con 0,45 días medios un  $K_c$  med de 1,10 y con 0,82 días finales alcanza un valor de 0,55. A su vez, Blanney (2003) plantea que el frijol con un 30% de desarrollo tiene un  $K_c$  ini de 0,90, con un 50% de desarrollo un  $K_c$  med de 1,02 y al 100% de desarrollo una  $K_c$  fin de 0,62

### 1.6 Factores que afectan el rendimiento

Varios investigadores determinaron las causas de los bajos rendimientos del frijol. Socorro y Martín (1989) señalan que este cultivo es muy sensible a la acción de los factores ambientales (ecológicos), pudiendo estos agruparse de forma general en tres categorías: edáficos, climáticos y bióticos.

En Cuba, la variación de las condiciones climáticas está dada por el hecho de practicar el cultivo en todo el país, de Oriente a Occidente, del llano a la montaña. Y en sentido temporal, desde septiembre hasta mayo, aparte de la posible variación climática entre los años (Quintero, 2000).

Para el período comprendido entre los años 2008 y 2013 por el sector estatal y no estatal el rendimiento y la producción agrícola del frijol se muestran en las Figuras 2 y 3 (ONEI, 2014). Aquí se aprecian los bajos rendimientos por hectárea obtenidos, los cuales promedian aproximadamente  $1 \text{ t ha}^{-1}$  en el sector privado y  $0,75 \text{ t ha}^{-1}$  en el sector estatal y como la producción nacional de frijol es liderada por los pequeños agricultores.



Figura 2. Rendimiento agrícola del frijol (t/ha), por tipo de tenencia de la tierra, en Cuba.

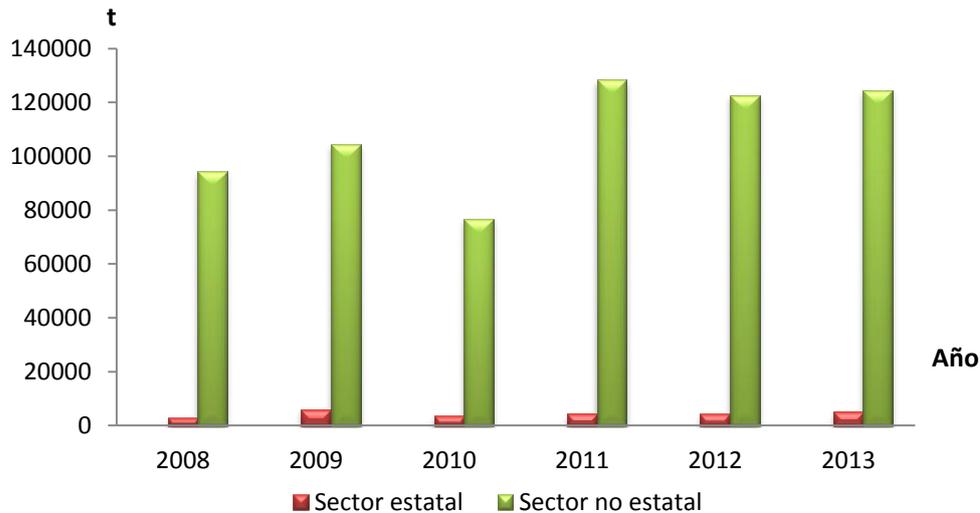


Figura 3. Producción agrícola del frijol (t), por tipo de tenencia de la tierra, en Cuba.

### 1.7 Propiedades del frijol

Los frijoles poseen un alto contenido en proteínas y en fibra, siendo así mismo una fuente excelente de minerales. También cabe destacar la elevada cantidad de folatos que aporta y el contenido equilibrado en demás vitaminas del grupo B exceptuando la cianocobalamina (Balmaseda, 2014).

### 1.8 Valor nutricional

Según Herrera *et al.* (2013) su alto contenido de hierro, elemento vital para el buen desarrollo cerebral en los pequeños, ayuda a corregir desórdenes biliares, gota, enfermedades reumáticas, disminuye la tasa de colesterol y es eficaz contra la anemia. Por cada 100 gramos, hay 20 de proteínas, 5.8 de grasa y más de 3 de fibra. El frijol es una leguminosa que constituye una rica fuente de proteínas e hidratos de carbono, además es abundante en vitaminas del complejo B, como niacina, riboflavina, ácido fólico y tiamina; también proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, y presenta un alto contenido de fibra.

Tabla 1. Valor nutricional del frijol para adultos

---

| <b>Valor nutricional por cada 100 g</b> |               |
|---|---------------|
| <b>Energía 330 kcal 1390 kJ</b>         |               |
| <b>Carbohidratos</b>                    | 61.5 g        |
| Fibra alimentaria                       | 4.3 g         |
| <b>Grasas</b>                           | 1.8 g         |
| saturadas                               | 0.12 g        |
| monoinsaturadas                         | 0.06 g        |
| poliinsaturadas                         | 0.18 g        |
| <b>Proteínas</b>                        | 19.2 g        |
| <b>Agua</b>                             | 7.9 g         |
| Vitamina A                              | 1.0 µg (0%)   |
| Tiamina (Vit. B1)                       | 0.62 mg (48%) |
| Riboflavina (Vit. B2)                   | 0.14 mg (9%)  |
| Niacina (Vit. B3)                       | 1.7 mg (11%)  |
| Vitamina B6                             | 0.4 mg (31%)  |
| Ácido fólico (Vit. B9)                  | 394 µg (99%)  |
| Calcio                                  | 228 mg (23%)  |
| Magnesio                                | 140 mg (38%)  |
| Fósforo                                 | 407 mg (58%)  |
| Potasio                                 | 1406 mg (30%) |
| Sodio                                   | 24 mg (2%)    |
| Zinc                                    | 2.79 mg (28%) |

---

*CAPÍTULO II*  
*СЪВЪЛОГО II*

## CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC-3) “Jesús Menéndez”, perteneciente a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú en el municipio Santa Clara, provincia Villa Clara. El estudio se llevó a cabo en los meses de enero a marzo de 2015. La tecnología de riego empleada fue por aspersión, con el empleo de una máquina de pivote central eléctrica, cuyas características se reflejan en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de la máquina de riego de pivote central eléctrica “Western”.

| Máquina | Marca   | No. de torres | No. de surtidores | Longitud (m) | Eficiencia de diseño (%) | Área Regada (ha) | Caudal (l/s) | Presión (bar) |
|---------|---------|---------------|-------------------|--------------|--------------------------|------------------|--------------|---------------|
| UBPC 3  | Western | 5             | 116               | 239          | 85                       | 17.3             | 23.45        | 1.9           |

### 2.1. Obtención de las variables climáticas

Las variables climáticas tales como la temperatura mínima, media y máxima, así como la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones fueron obtenidas de la estación agrometeorológica “Valle del Yabú”.

### 2.2. Evaluación de la calidad del agua de riego

El agua destinada a la agricultura con altos contenidos de sales trae problemas tanto para el cultivo como para el suelo, por lo tanto se evaluó la calidad del agua de riego. Para esto se tomó un litro de agua durante la aplicación del riego a la plantación. Las muestras fueron obtenidas en envases plásticos, se etiquetaron y se enviaron al laboratorio del CIAP. Se realizaron seis repeticiones. Los elementos a analizar fueron:

- ✓ pH
- ✓ Conductividad eléctrica
- ✓ Calcio (Ca)
- ✓ Magnesio (Mg)
- ✓ Hierro
- ✓ Potasio (K)
- ✓ Sodio (Na)

En el análisis realizado no se determinaron los Coliformes totales ni los agentes biológicos patógenos como la *Escherichia coli* enterohemorrágica (*EHEC*) ya que el agua empleada no es destinada al consumo, ni a cultivos de consumo fresco como la lechuga y la col. En la obtención de pH, temperatura y conductividad eléctrica se utilizó un potenciómetro (pH metro manual de lectura digital modelo 315i), un medidor de temperatura y un conductímetro modelo Cond 315i, con su escala calibrada para leer directamente conductancias. Los resultados se expresaron en unidades de pH a la temperatura de 25 y 26°C, con una precisión de  $\pm 0,05$  unidades, los demás elementos se determinaron mediante la espectrofotometría de absorción atómica, para esto se utilizó el equipo que muestra la Figura 4.



Figura 4. Espectrofotómetro.

### 2.3. Determinación de las necesidades hídricas del frijol

*Obtención de humedad a capacidad de campo (cc) y punto de marchitez permanente (pmp)*

Para la obtención de la humedad a capacidad de campo se utilizó el procedimiento descrito por (Jara y Valenzuela, 1998).

1. Se seleccionaron 5 sectores representativos del terreno y se limpió la superficie de toda materia orgánica. Inmediatamente después de un riego intenso se cubrió con nylon, los bordes de este se cubrieron con tierra para evitar la evaporación y para prevenir que los vientos intensos volaran el nylon.



Figura 5. Limpieza y tapado de sector seleccionado

2. A las 48 horas después del riego, con un cilindro muestreador se extrajeron porciones de suelo de entre 80 y 100 gr en cada estrata y se depositaron en una cápsula hermética.



Figura 6. Cilindro muestreador.

3. Se pesaron las muestras en una balanza de lectura de décimas de gramo, sin abrir o destapar la muestra. Luego se registró la lectura como PSH + PE (Peso del suelo húmedo más Peso de envase).



Figura 7. Balanza digital y peso de las muestras.

4. Una vez pesada la muestra, se introdujo en una estufa a 105°C por 24 horas y se pesó la muestra seca.



Figura 8. Secado de las muestras en la estufa.

5. Luego se obtuvo el valor de contenido de humedad del suelo a capacidad de campo.

$$cc = \frac{(PSH + PE) - (PSS + PE)}{PSS} * 100 \quad (1)$$

Donde:

*PSH* - peso del suelo húmedo (g);

*PE* - peso del envase al momento de pesar (g);

$P_{ss}$  - peso del suelo seco (g).

6. El contenido de humedad en el punto de marchitez permanente se obtuvo según la ecuación 2 (Jara y Valenzuela, 1998).

$$pmp = 0,55 * cc \quad (2)$$

Densidad aparente ( $D_a$ )

Para la densidad aparente ( $D_a$ ) se utilizó el valor de 1,0 ( $\text{gcm}^{-3}$ ), según Pacheco y Pérez (2010)

Evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ )

La evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se determinó a partir de la evapotranspiración de referencia, según la expresión:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (4)$$

Donde:

$ET_c$  - evapotranspiración del cultivo (mm);

$K_c$  - coeficiente del cultivo;

$ET_o$  - evapotranspiración de referencia (mm).

El requerimiento de riego del cultivo se determinó según la siguiente ecuación (Cisneros, 2003)

$$R_r = ET_c + R_l - P_e \quad (6)$$

Donde:

$R_r$  - requerimiento de riego (mm);

$P_e$  - precipitación efectiva (mm);

$R_l$  - requerimiento de lavado (mm).

La precipitación efectiva se obtuvo mediante la ecuación 7.

$$p_e = 0,8 * lluvia \quad (7)$$

Cuando no se aplica agua para el lavado de sales, entonces:

$$R_r = E_t - P_e \quad (8)$$

Agua disponible total (ADT).

La determinación de la disponibilidad de agua en el suelo se obtuvo a partir de ecuación 10. Según Allen *et al.* (2006).

$$ADT = 100 * (cc - pmp) * Da * Zr \quad (10)$$

Donde:

$Zr$  – profundidad efectiva de las raíces (m).

La profundidad efectiva de la raíz corresponde al 70% de esta (Herrera *et al.*, 2013)

$$Zr = 0.7 * Z \quad (11)$$

*Agua fácilmente aprovechable (AFA)*

$$AFA = p * ADT \quad (12)$$

Donde:

$p$  - fracción promedio del total de agua disponible en el suelo que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico.

Los valores de  $p$  se obtuvieron del Cuadro 22, según Allen *et al.* (2006) son válidos para  $ETc \approx 5 \text{ mm dia}^{-1}$ . El valor de  $p$  puede ser ajustado para diferentes valores de  $ETc$  de acuerdo a la siguiente expresión:

$$p = p_{\text{Cuadro 22}} + 0,04 * (5 - ETc); \quad (13)$$

*Lámina de agua mínima requerida para que no ocurra estrés hídrico en la planta, criterio de riego o lámina de agua umbral (Humbral)*

$$\text{Humbral} = ADT - AFA \quad (14)$$

Para el cálculo de la planificación del riego se utilizó el método de Blaney y Criddle, según propone Cisneros (2003). Para la aplicación de este método se elaboró la Tabla 3.

Tabla 3. Planificación del calendario de riegos.

| Período calendario | Humedad inicial | Días del período | Rr diario | Consumo de agua | Lámina al final | Criterio de riego | No. de riego | Intervalo de riego | Lámina en reposición | Lamina final |
|--------------------|-----------------|------------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------|--------------------|----------------------|--------------|
| (I)                | (II)            | (III)            | (IV)      | (V)             | (VI)            | (VII)             | (VIII)       | (IX)               | (X)                  | (XI)         |

Procedimiento utilizado para el llenado de la Tabla 3.

- 1- Se situó el período de tiempo para el que se realizó el cálculo.

- 2- La humedad inicial, es la máxima humedad obtenida después de la siembra. Coincide con el *ADT*, es la que se obtiene después del riego inicial.
- 3- Se sitúan la cantidad de días a analizar en el período calendario.
- 4- El requerimiento de riego se calculó según la ecuación 8.
- 5- El consumo de agua en el período se refiere a la humedad perdida por el suelo en el período, es el producto de la columna III por la IV.
- 6- Lámina al final, se refiere a la humedad presente en el suelo al finalizar el período, es la sustracción de la columna II menos la V.
- 7- Criterio de riego. Se refiere a la humedad umbral.
- 8- La columna VIII se refiere al número consecutivo del riego a realizar. Se compara la columna VI con la VII. Si la humedad umbral es mayor que la lámina al finalizar, no se riega, si es inferior hay que aplicar un riego. Se asienta el número del riego correspondiente.
- 9- Se asentó el intervalo de días entre el riego  $i-1$  y el riego  $i$ .
- 10- Se asentó el agua que hay que aportar durante el riego, es igual a la diferencia entre la *ADT* y la lámina al finalizar el día (7).
- 11- Coincide con la columna VI cuando no se riega y es la suma de la columna VI más la columna X cuando se realiza el riego. Es el valor de la humedad inicial columna 2 en la próxima línea.

#### **2.4. Evaluación de la planificación del riego realizado por la UBPC.**

Se obtuvo la planificación del riego que realiza la UBPC a través de la libreta de campo del cultivo del frijol. Además se determinó el contenido de humedad presente en el suelo, periódicamente durante todo el ciclo de producción.

La determinación experimental de la humedad presente en el suelo se realizó mediante el procedimiento similar al utilizado para la obtención de la capacidad de campo, del inciso 2 al 5.

*CAPÍTULO III*  
*СЪБИТОГО III*

## **CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Caracterización de la UBPC-3 “Jesús Menéndez”**

La UBPC fue creada el 28 de octubre de 1993 por un acuerdo del Buró Político del Partido, se funda con 82 trabajadores y tierras en usufructos en Pararrayos. La unidad ya hace 20 años consecutivos que ha sido rentable. La UBPC linda por el este con la carretera de Sagua, por el oeste con la comunidad Julián Grimaó y la carretera a Pararrayos, por el norte con las tierras de la Unidad de riego y por el sur con las casas de cultivos y Unidad Agrotur. Hoy la UBPC cuenta con: 68 trabajadores, 3 tractores y un grupo de implementos para la preparación de los suelos. Posee un total de 14 campos todos en producción con 160 ha dedicadas a cultivos varios, entre ellos viandas, hortalizas, vegetales, frutales y granos, los cultivos que más se destacan son la papa, yuca, malanga, boniato, tomate, frijol; en los frutales mango, coco y papaya. La unidad posee un área destinada para ventas al turismo.

### **3.2. Comportamiento de las variables climáticas**

Se realizó un análisis diario de las principales variables climáticas del campo 330 de la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC-3) “Jesús Menéndez”, perteneciente a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, ubicado en los 116,4 metros sobre el nivel del mar, los 22,00° de latitud norte y 80,00 ° de longitud este, los datos fueron tomados de la estación agrometeorológica “Valle del Yabú”, ubicada en los 22° 27' 54" de latitud norte y 79° 59' 51" de longitud oeste. La Figura 9 muestra ubicación geográfica del campo 330 y la UBPC-3 “Jesús Menéndez”.

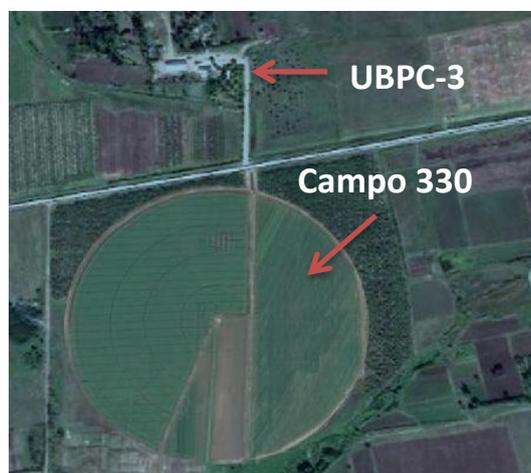


Figura 9. Ubicación geográfica de la UBPC -3 “Jesús Menéndez”.

La Figura 10 presenta una combinación de las temperaturas máximas, mínimas y medias por decenas, durante el ciclo del cultivo. La temperatura media se comportó sobre los 23 y 24 °C aproximadamente durante toda la campaña. En la quinta decena esta alcanzó valores de 19 °C muy favorable para el cultivo ya que el frijol sembrado entre los meses de octubre y enero necesita de temperaturas frescas para obtener el rendimiento promedio esperado de 1,05 toneladas por hectárea.

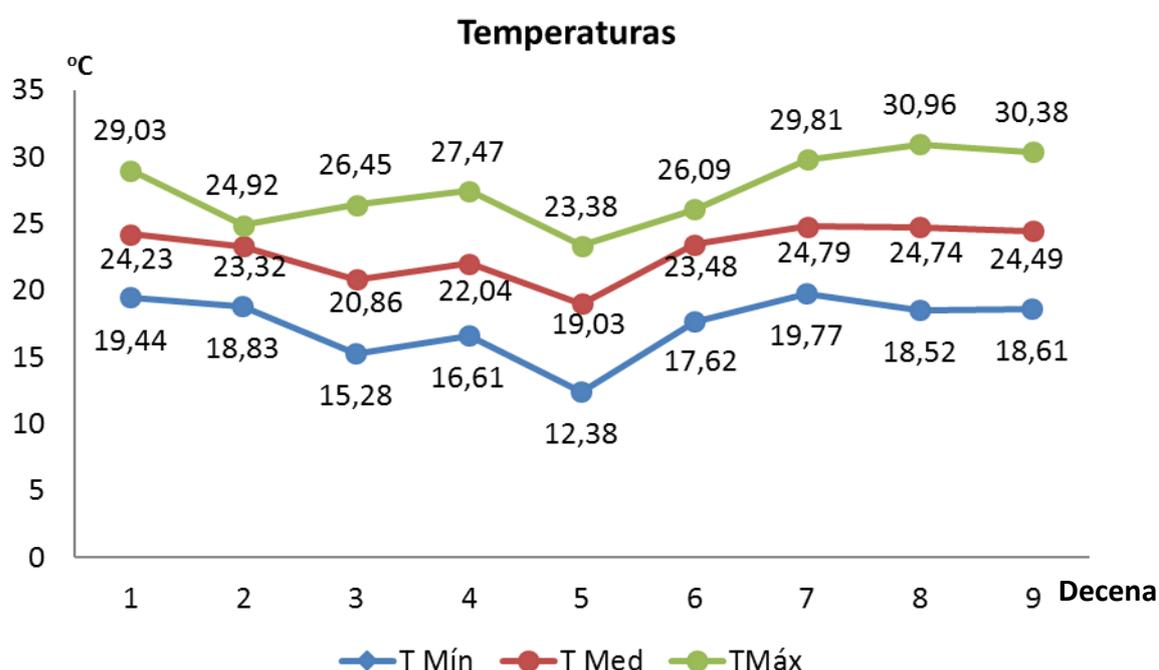


Figura 10. Temperaturas máximas, mínimas y medias por decenas, durante el ciclo del cultivo.

En relación a las precipitaciones, como muestra la Figura 11, durante los meses de enero a marzo, se destaca que estas fueron casi inapreciables excepto para la segunda decena del período, cuando alcanzaron un valor de 8,83 mm. Durante estos días la alta humedad fue poco favorable para el cultivo ya que se debe tener en cuenta que para los primeros estados de desarrollo conviene mantener el suelo con poca humedad ya que en exceso de esta puede provocar clorosis, pérdida de la cosecha, además de disminuir la calidad de los frutos.

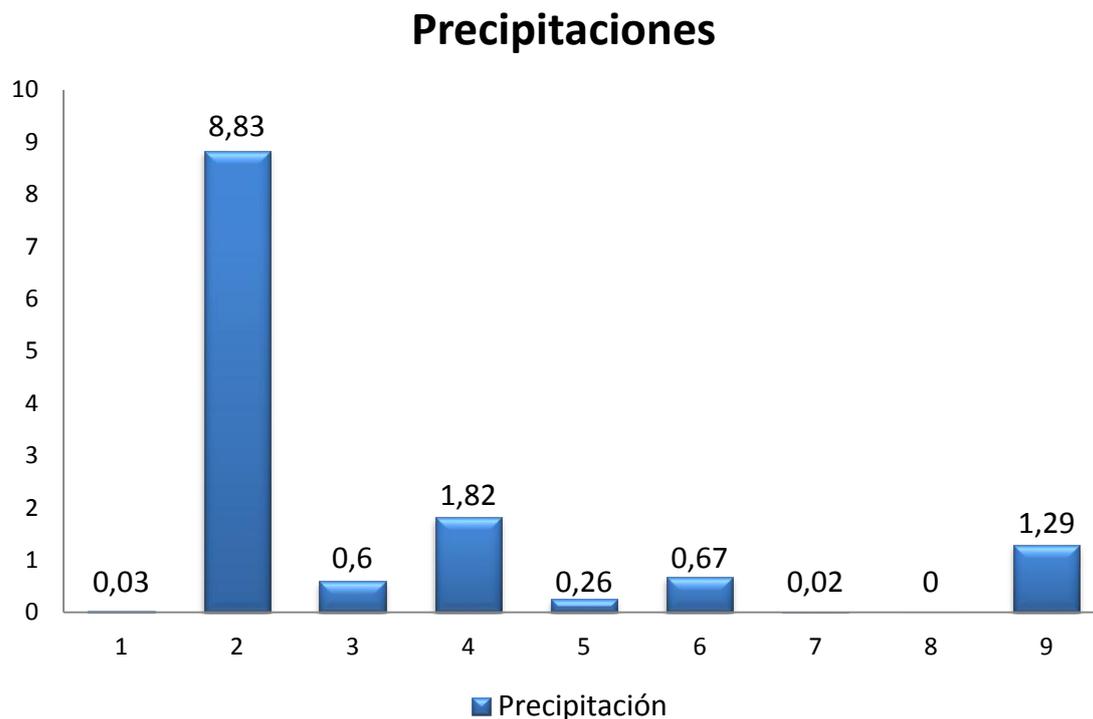


Figura 11. Precipitaciones durante el período evaluado

Debido a los valores alcanzados por las temperaturas mínimas, media y máxima reflejadas en la Figura 10, además de la humedad y el viento, provocaron como se muestra en la Figura 12, que la evapotranspiración de referencia fueran bajas para el período, hecho favorable ya que si la evapotranspiración de referencia es bajo necesita menos riego, porque la planta transpira menos y tanto las variables climáticas y el sol absorben menos el agua disponible de las plantas.

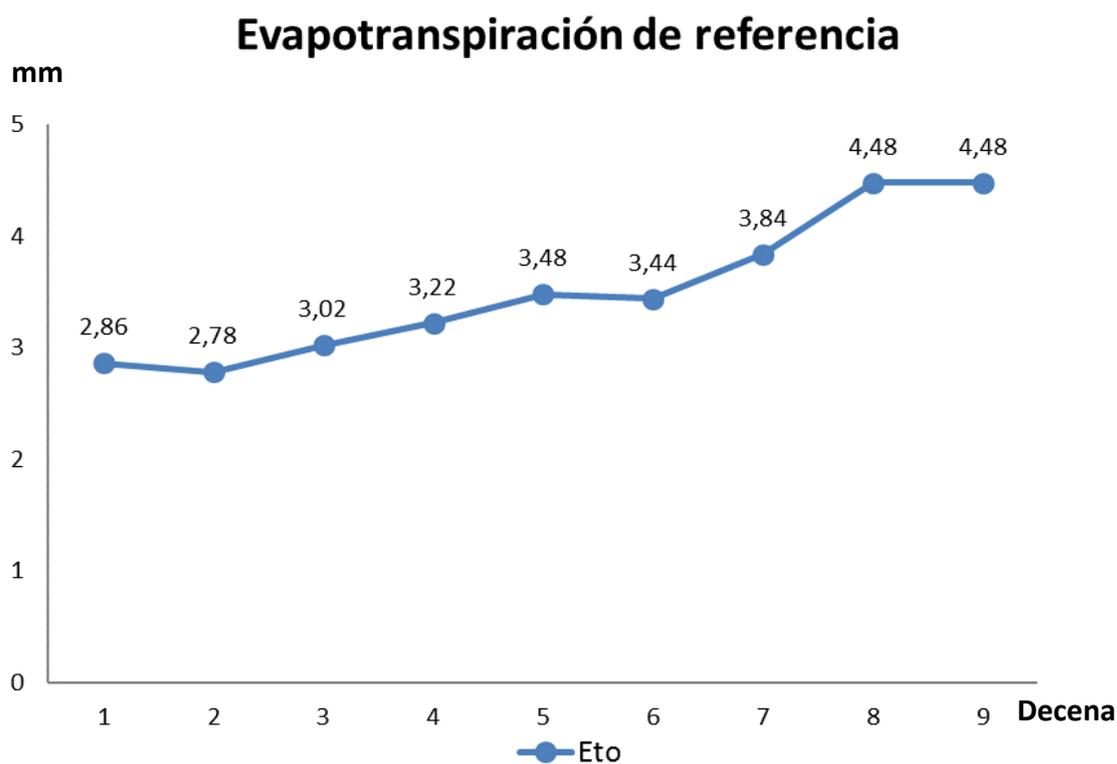


Figura 12. Evapotranspiración de referencia durante el período evaluado.

### 3.3. Resultados de la evaluación de la calidad del agua de riego

Los orígenes de las sales del suelo pueden ser de forma natural debido a la descomposición de las rocas y la intrusión marina, o por la posibilidad de la acción del hombre mediante el empleo de fertilizantes en exceso y el uso de agua salina para el riego. Las sales más frecuentes en el agua de riego son el sodio, calcio, magnesio, potasio, boro, cloruros, carbonatos, sulfatos y los bicarbonatos, y en el suelo están el cloruro sódico, cloruro magnésico, sulfato de magnesio, sulfato sódico y el carbonato sódico. Los altos contenidos de sales en el agua destinada a la rama de la agricultura son dañinos, provocando

- ✓ salinización del suelo: un suelo con alta capacidad de adsorción de Na respecto al Mg y Ca, presenta problemas de degradación de suelo e infiltración
- ✓ infiltración de las aguas en el suelo: deterioro de la estructura, dispersión de las partículas sólidas y sellados de poros.
- ✓ disminución de la producción,
- ✓ obturación del riego localizado,
- ✓ influye en la elección del sistema de riego,

- ✓ toxicidad para las plantas, ya que un exceso de sodio, de boro y cloruro provoca en los cultivos sequedad o quemaduras en los bordes exteriores de las hojas y en las puntas, además de amarilleamiento en la punta de las hojas más antiguas y sequedad en algunas zonas de la planta.

La solución a los problemas de salinidad del suelo son el lavado de sales y el cambio de cultivo. La Tabla 4 muestra los estadígrafos de los parámetros analizados, la media de los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del agua de riego, al compararlos con los valores normales mostrados en el Anexo I confirma que todos los parámetros están dentro del intervalo requerido.

Tabla 4. Resultados de la calidad del agua.

| Muestras                       | pH   | CE<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | Ca<br>(mg/L) | Mg<br>(mg/L) | Fe<br>(mg/L) | K<br>(mg/L) | Na<br>(mg/L) |
|--------------------------------|------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| 1                              | 7,27 | 768                               | 25,95        | 28,57        | 0,02         | 3,35        | 570,8        |
| 2                              | 7,17 | 928                               | 26,30        | 29,68        | 0,041        | 2,99        | 744,0        |
| 3                              | 7,12 | 928                               | 27,13        | 29,81        | 0,039        | 2,60        | 736,4        |
| 4                              | 6,97 | 928                               | 26,74        | 29,65        | 0,029        | 2,58        | 726,3        |
| 5                              | 6,67 | 758                               | 30,42        | 28,24        | 0,038        | 4,23        | 551,2        |
| 6                              | 6,76 | 758                               | 30,29        | 28,35        | 0,053        | 4,20        | 527,7        |
| <b>Promedio</b>                | 6,99 | 844,66                            | 27,80        | 29,05        | 0,036        | 3,325       | 642,73       |
| <b>Variancia</b>               | 0,05 | 8346,67                           | 4,06         | 0,54         | 0,00012      | 0,5556      | 10559,4      |
| <b>Desviación<br/>estándar</b> | 0,23 | 91,36                             | 2,01         | 0,73         | 0,01121      | 0,7454      | 102,75       |
| <b>Error<br/>estándar</b>      | 0,97 | 37,29                             | 0,82         | 0,30         | 0,00458      | 0,3043      | 41,95        |

### 3.4. Determinación de las necesidades hídricas del cultivo

Las necesidades hídricas del cultivo se obtuvieron teniendo en cuenta las distintas fases fenológicas del frijol. Según Arellenz (1998) durante la floración del frijol es muy importante garantizar el suministro estable de agua a la planta. La Tabla 5 muestra la planificación del riego realizada teniendo en cuenta todos los aspectos relacionados con el desarrollo del cultivo. Aquí se puede apreciar

que durante todo el ciclo del frijol el agua en el suelo garantiza las necesidades hídricas. En los Anexos II en la Tabla 2, se aprecian los valores límites de agua disponible en el suelo y de agua umbral durante todo el ciclo del cultivo, además incluye el agua existente en el suelo al finalizar cada día como lámina al finalizar el día. En esta se aprecia que los requerimientos hídricos del cultivo se satisfacen aplicando 14 riegos, con una norma total neta a aplicar de 2 342,55 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> la cual es muy similar a la de 2 560 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> que menciona Herrera *et al.* (2013) como norma total neta de riego al frijol.

Tabla 5. Total de riegos según la planificación

| No. Riego    | Lámina aplicada | Fecha     |
|--------------|-----------------|-----------|
| 1            | 160,00          | 01/1/2015 |
| 2            | 103,48          | 10/1/2015 |
| 3            | 1963,48         | 20/1/2015 |
| 4            | 195,80          | 29/1/2015 |
| 5            | 125,16          | 03/2/2015 |
| 6            | 219,84          | 08/2/2015 |
| 7            | 183,26          | 14/2/2015 |
| 8            | 169,51          | 18/2/2015 |
| 9            | 145,53          | 22/2/2015 |
| 10           | 135,41          | 25/2/2015 |
| 11           | 163,74          | 02/3/2015 |
| 12           | 13,20           | 05/3/2015 |
| 13           | 166,98          | 09/3/2015 |
| 14           | 246,16          | 13/3/2015 |
| <b>Total</b> | <b>2 342,55</b> |           |

### **3.5. Evaluación del riego realizado al cultivo del frijol por la UBPC-3 “Jesús Menéndez”**

La UBPC-3 “Jesús Menéndez” realizó de forma empírica la planificación del riego para el cultivo en estudio, previendo aplicar un total de 12 riegos, es decir uno cada siete días, con una norma parcial neta fija de  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Durante el ciclo del cultivo esta planificación no se cumplió como estaba previsto, una de las causas fue debido a las precipitaciones ocurridas durante el mes de enero y febrero. En la Tabla 6 se observa el total de riegos realizados y las normas parciales aplicadas durante el período. La norma total neta aplicada es muy superior a la propuesta por Herrera *et al.* (2013) y a la obtenida por las necesidades hídricas del cultivo; hay que tener en cuenta que demasiada agua aplicada a un suelo pardo con carbonato con alta plasticidad provoca encharcamientos lo que trae consigo clorosis, disminuye la calidad de los frutos y pérdida de la cosecha, además de la escorrentía superficial, pérdida del suelo y anegamiento.

Tabla 6. Total de riegos realizados por la UBPC-3

---

| <b>No. Riego</b> | <b>Lámina aplicada</b> | <b>Fecha</b> |
|------------------|------------------------|--------------|
| 1                | 409,3                  | 08/01/2015   |
| 2                | 375,0                  | 15/01/2015   |
| 3                | 375,0                  | 22/01/2015   |
| 4                | 307,0                  | 27/01/2015   |
| 5                | 307,0                  | 03/02/2015   |
| 6                | 307,0                  | 09/02/2015   |
| 7                | 307,0                  | 16/02/2015   |
| 8                | 614,0                  | 23/02/2015   |
| 9                | 614,0                  | 04/03/2015   |
| 10               | 614,0                  | 12/03/2015   |
| 11               | 614,0                  | 18/03/2015   |

**Total** 4 843,3

La Figura 13 presenta el comportamiento de la humedad del suelo obtenida durante el muestreo en todo el ciclo del cultivo, con un intervalo de dos a tres días, para profundidades de hasta 20 y 30 cm. Aquí se aprecia que la humedad existente en el suelo se ha mantenido en la zona del agua fácilmente aprovechable por la planta, lo que permite considerar que se realizó un riego adecuado debido a que la planta en ningún momento es sometida a estrés hídrico.

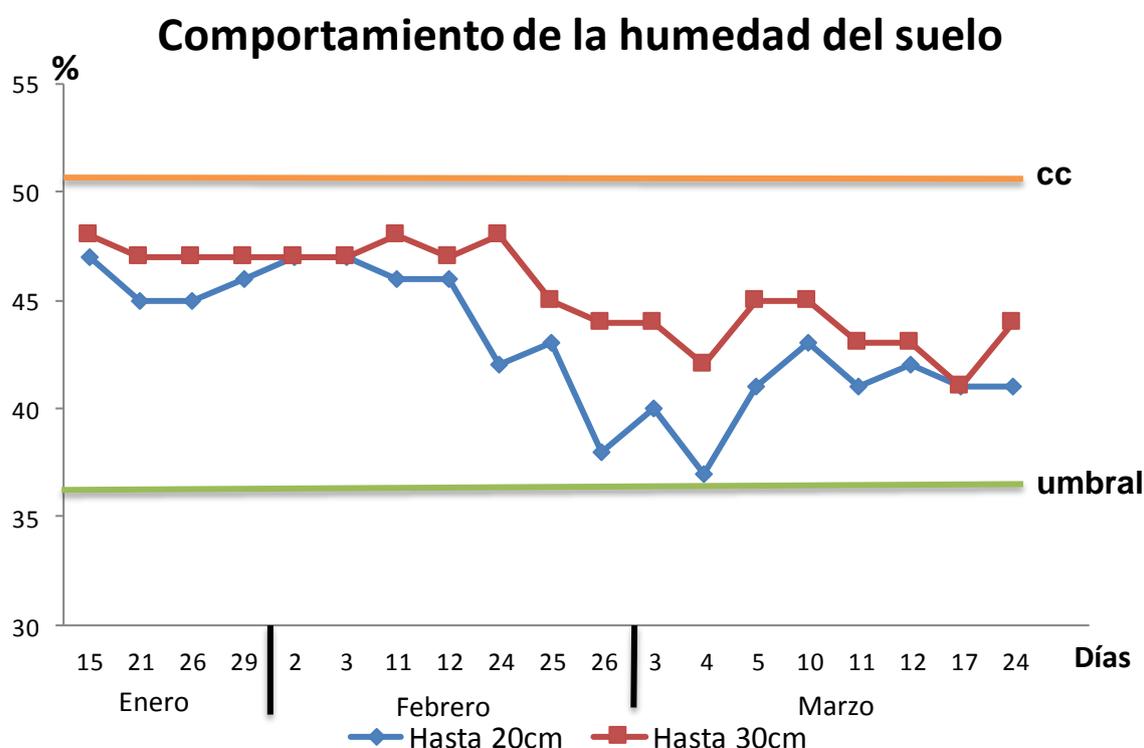


Figura 13. Comportamiento de la humedad del suelo hasta 20 y 30cm de profundidad.

Como es conocido, los objetivos de la programación del riego son (Cisneros y Yemane, 2009):

- 1) Maximizar la producción por unidad de área regada,
- 2) Maximizar la producción por unidad de agua aplicada,
- 3) Maximizar los beneficios de la explotación agrícola.

En cuanto a los objetivos 1 y 2 encontramos que de haberse aplicado el plan de riego propuesto de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo se

alcanzaría un mejor aprovechamiento del agua aplicada debido a que en las 3 ha cosechadas se obtuvieron 3,28 t de frijol, lo cual al relacionarlo con el agua según la programación obtenemos un indicador de 0,0014 t/m<sup>3</sup> de agua aplicada; sin embargo al analizar el agua regada se obtiene un indicador de 0,0006 t/m<sup>3</sup>. Estos resultados muestran que cuando se programa el riego, existe un mejor uso del agua de riego, es decir, con la planificación del riego se necesitarían 714,2 m<sup>3</sup> de agua para producir una tonelada de frijol y con el riego realizado en la UBPC solo se necesitaron 1 476,6 m<sup>3</sup> de agua para obtener la misma producción, lo que demuestra un ahorro evidente de recursos tan importantes como son el agua la energía y mano de obra.

Un factor importante a considerar, en cuanto a la realización de los riegos a este cultivo por la UBPC, es que no se tuvo en cuenta la tensión de humedad existente en el suelo. Durante la investigación se encontró que la unidad no disponía de tensiómetros para obtener la tensión del suelo y así aplicar el agua cuando exactamente el cultivo lo necesitaba. Esta es una medida muy aplicada y práctica para lograr ahorros en el uso del agua. Pacheco y Pérez (2010) en el cultivo de la papa, en esta misma empresa, mediante la utilización de tensiómetros, determinó que se hacían riegos excesivos a la papa, provocando una menor eficiencia en el uso del agua.

Una inadecuada explotación de las técnicas de riego ocasiona pérdidas millonarias al país y provoca daños irreparables al medio ambiente como la salinización de los suelos, contaminación de los acuíferos o degradación de las mejores tierras, las que por lo general están bajo riego (Cisneros, 2011). Con vistas a mejorar la explotación de los sistemas de riego en el mundo se implanta el Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) con el objetivo de procurar una reducción de los costos asociados al riego debido a una disminución en el consumo de agua y energía y por otro promover un manejo conservacionista del regadío: uso racional del recurso agua, limitación de la contaminación nitrogenada, disminución del consumo energético. Países como España, EEUU, Chile y otros ya cuentan con un SAR. El Instituto de Meteorología en VC, en su página Web publica datos meteorológicos que

pueden ser utilizados por las empresas para establecer pronósticos de riego en base a las variables climáticas actuales. Este instituto también provee reportes que pueden ser utilizados para una mejor explotación del riego en el área.

*CONCLUSIONES*  
*CONCLUSIONES*

## **CONCLUSIONES**

1. Las variables climatológicas investigadas, como las precipitaciones y las temperaturas máximas y mínimas fueron favorables para el cultivo. Durante el período las temperaturas medias estuvieron entre los 23 y 24 °C aproximadamente lo cual facilita obtener buenos rendimientos del cultivo.
2. Las investigaciones realizadas a la calidad del agua muestra su aptitud para el riego. Los parámetros evaluados al compararlos con los valores normales confirman que todos están dentro del intervalo requerido.
3. Las necesidades hídricas del cultivo muestran que los requerimientos hídricos se satisfacen aplicando 14 riegos, con una norma total neta a aplicar de 2 342,55 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> la cual es muy similar a la propuesta por otros autores para el cultivo del frijol.
4. La UBPC-3 “Jesús Menéndez” realizó de forma empírica la planificación del riego para el cultivo en estudio, previendo aplicar un total de 12 riegos, es decir uno cada siete días, con una norma parcial neta fija de 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. La norma total neta aplicada es muy superior a la obtenida por las necesidades hídricas del cultivo lo cual provoca poca eficiencia en el uso del agua.
5. Los resultados de la investigación muestran la importancia de la planificación del riego a partir de las necesidades hídricas del cultivo, lo cual permite un mejor uso del agua y un ahorro evidente de recursos tan importantes como son el agua, la energía y mano de obra.

*RECOMENDACIONES*  
*RECOMENDACIONES*

## **RECOMENDACIONES**

1. Seguir la investigación en el cultivo del frijol para la realización de futuras planificaciones de riego.
2. Realizar la programación del riego a partir de la utilización del software CROPWAT.

*REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS*  
*БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ*

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALLEN, R. G.; L. S. PEREIRA; D. RAES y M. SMITH: *Evapotranspiración del cultivo "Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos"*, Ed. FAO, 2006.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M: ""Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56, Rome, Italy."" : 1998.
- ANNANDALE, J. G. y C. O. STOCKLE: "Fluctuation of crop evapotranspiration coefficients with weather: a sensitivity analysis. *Irrig. Sci.* 15:1-7": 1994.
- ARELLENZ, D.: Manejo de los Recursos Hidráulicos. *Revista Modelo de formación. Cuba.* pp. 1998.
- BELL, A.: "The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration.": 2005.
- BLANNEY, J.: "Irrigación y drenaje": 49, 2003.
- CALVACHE, M.: " Introducción a la Agricultura de Regadío. PRONADER-IICA Quito": 1998.
- CASTIÑEIRAS: "Origen, diversidad y utilización del germoplasma cubano de frijol. En CIAT. Resúmenes sobre frijol. Cali. Colombia. ": 15(2), 1992.
- CENTELLA, A., L. N. Y. L. R: "Variaciones y cambios del clima de Cuba": 1997.
- CENTELLA, A. V. Y. C. D. C. E. C.: ""Variabilidad y cambios del clima en Cuba, Reporte técnico del Instituto de Meteorología": La Habana, Cuba": 1998.
- CIAT. *Soluciones que cruzan fronteras. Frijol mejorado para África y América Latina [en línea] [Consulta: [http://www.ciat.cgiar.org/about\\_ciat/acerca/frijol.html](http://www.ciat.cgiar.org/about_ciat/acerca/frijol.html)].*
- CISNERO, F.: ""Mountain irrigation: performance assessment and introduction of new concepts to improve the water distribution at field level. PhD-dissertation, Faculty of Bioscience Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium."" : 2002.
- CISNEROS, A. J.: "Apuntes de la materia de Riego y Drenaje": 2003a.
- CISNEROS, E.: "Resultados preliminares de la implementación del servicio de asesoramiento al regante en una empresa piloto de la provincia La Habana. Congreso Internacional CUBARIEGO 2005, Palacio de las Convenciones": 2005.
- CHAZAN y MICHAEL: "World Prehistory and Archaeology: Pathways through Time. Pearson Education": 2008.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A: ""Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Serie Riego y Drenaje N°33"" : 1986.
- DOORENBOS, J. A. W. O. P.: "Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. Food and Agriculture Organization. United Nations, Rome, Italy.": 1977.
- ENTEKHABI, D., H. NAKAMURA & E.G., IEEE TRANS GEOSCI: ""NJOKU: "Solving the inverse problem for soil moisture and temperature profiles by sequential assimilation of multifrequency remote sensed observations""", *Remote Sensing*, 32(2): " 1994.
- ESPAÑA, W.: *Propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura [en línea]. vol. no.*
- FAO: 1977a.
- . *línea] [Consulta: <http://www.fao.stat.org> ].*

- FAO, F. A. A. O.: "Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper. No. 24. Rome, Italy.": 1977b.
- GARCÍA, A., MAÑALICH, I.; PICO, N., QUIÑONES, N: *La sustitución de importaciones de alimentos: una necesidad impostergable (primera parte), Investigación económica, 1997.*
- : "Sustitución de importaciones de alimentos en Cuba: necesidad vs. Posibilidad. XXIV Congreso de la Asociación de Estudios Latinoamericanos, LASA, Dallas, Texas, EE. UU": 2003.
- GARCÍA, M. R., GARCÍA, D.G: "Notas sobre mercado y comercialización de productos agrícolas; México; Ed. Colegio de Posgraduados, Centro de Economía": 2001.
- GARCÍA, S. E.: "El cultivo del frijol caupí para granos. Holguín: ETIAH. - MINAGRI": 1998.
- GIACOMELLI, A., U. BACCHIEGA, P.A. TROCH & M. , J: ""MANCINI: "Evaluation of surface soil moisture distribution by means of SAR remote sensing techniques and conceptual hydrological modelling"", Hydrol. 166: 445-459": 1995.
- GONZÁLEZ, P.: ""Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las máquinas de riego por aspersión, Informe final, Proyecto 22-18, IIRD, La Habana, """: 2006.
- HANSON, J. D., L.R. AHUJA, M.D. SHAFFER, K.W. ROJAS, D.G. DECOURSEY, H. FARAHANI & K. JOHNSON: ""RZWQM: simulating the effects of management on water quality and crop production"", Agric. Systems 57: 161-195": 1998.
- JACKSON, T. J., T.J. SCHMUGGE & E.T. , J: ""ENGMAN: "Remote sensing applications to hydrology: soil moisture"", Hydrol., 41(4): 517-530": 1996.
- JARA, J., V. A: ""Necesidades de agua en los cultivos."28": 1998.
- JENSEN, M. E., R.D. BURMAN AND R.G. ALLEN: "Evaporation and irrigation water requirements. ASCE Practice No. 70. ASCE, NY, NY.": 1990.
- KELLER, J.: ""Manual de diseño de sistemas de riego por aspersión y goteo. Centro Internacional de Riegos. USA, UTAH," "": 1988.
- LAPINEL, B.: ""La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las precipitaciones en Cuba". Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas), Universidad de la Habana, Cuba": 120, 1988.
- LAPINEL, B., F., C., CUTIÉ, V., PÉREZ, D., AROCHE, R., BÁEZ, R., RIVERO, R., RIVERO, I., Y R. PÉREZ: ""La sequía en Cuba, Centro del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana Cuba, (monografía)""": 243, 2003.
- MARTIN, E. C., A.S. DE OLIVEIRA, A.D. FOLTA, E.J. PEGELOW AND D.C. SLACK. . : "Development and testing of a small weighing lysimeter system to assess water use in shallow rooted crops. Transactions of the ASAE. 44(1):71-78.": 2001.
- MINAGRI: "Lineamientos para los Subprogramas de la Agricultura Urbana para 2008-2010 y Sistema Evaluativo": 121p, 2007.
- ONEI: "Anuario Estadístico de Cuba", *Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.*, pp, 2014.
- ORELLANA, R. Y. O., F: Del riego al manejo del agua. *Revista de Agricultura Orgánica.* pp. 9 - 11. 2007.
- PEREIRA, P.: "Evidencias de domesticación y disseminación del frijol. Pesquisa Agropecuaria Brasileira.": 25 (2): 19-23, 1990.
- PROAÑO, D. C. Y. C.: Boletín: "Manejo y Programación del Riego". Universidad Agraria del Ecuador. pp. 2004.

## *Referencias Bibliográficas*

- PUENTES, M.: "Monografía. Cultivo del frijol. Tema. Nutrición. UCLV. Facultad de Ciencias Agropecuarias": 14, 1994.
- QUINTERO, F., E: "Manejo agrotécnico del frijol en Cuba. Monografía. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV, Santa Clara, 28p": 2007.
- QUINTERO, F. E. Y. A., A: "Ecología Agrícola. Pueblo y Educación, La Habana, 192 p": 2000.
- REY, R., J. FONSECA, R. ROQUE: ""Situación actual del riego y el drenaje. I Taller Internacional de Riego y Drenaje. Convención METÁNICA'98. Ciudad de La Habana."" : 1998.
- RÍOS, A.: *Máquinas agrícolas, tracción animal e implementos manuales. [en línea]. vol. no. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. La Habana.*
- SAAVEDRA, L. F.: "Diversifican en Cuba siembra de frijol para semillas ". *Granma.*
- SANTA, O. M. y J. VALERO: "Agronomía del riego", *Edi.Mundi-Prensa Madrid*: 1993.
- TAJUELO, J. M.: "El riego por aspersión y su tecnología": 2005.
- TARJUELOS, J. M., M. CHILARON; N. ÁLVAREZ; J.F. ORTEGA Y J.A. DE JUAN: "Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) en Castilla-La Mancha. En: XIX Congreso Nacional de Riegos, Zaragoza, 12-14 Junio, España": 2001.
- TRAXCO. *Mantenimiento del sistema Pívo*t [en línea] [Consulta: <http://www.traxco.es/mantenimiento-del-sistema-pivot/> febrero 7 2013].
- VALLADOLID, Á., PANTALEÓN, J., CASTILLO, O. Y AQUINO, J "Curso producción de menestras de exportación (Para agricultores), Chiclayo - Perú.": 1998.

*ANEXOS*  
*ANEXOS*

**Anexos I**

Tabla 1. Valores normales del agua de requerida para el riego.

| <b>Elementos</b>        | <b>Valores normales</b> |
|-------------------------|-------------------------|
| pH                      | 6-8,5                   |
| Conductividad eléctrica | 0-3 dS/m                |
| Calcio                  | 0-960 mg/L              |
| Magnesio                | 0-400 mg/L              |
| Potasio                 | 0-60 mg/L               |
| Sodio                   | 0-2 mg/L                |
| Hierro                  | 0-0,5 mg/L              |

## Anexos II

Tabla 2. Resultados de la planificación del riego según la planificación.

| Período<br>calendario | Humedad inicial | Días del período | Rr diario | Consumo de<br>agua | Lámina al final<br>del día | Criterio de riego | Nro de riego | Intervalo<br>de riego | Lámina<br>en reposición | Lamina final |
|-----------------------|-----------------|------------------|-----------|--------------------|----------------------------|-------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| ene-01                |                 |                  |           |                    |                            |                   | 1            |                       | 160                     | 160          |
| ene-02                | 160             | 1                | 12,24     | 12,24              | 147,76                     | 64,0929           |              |                       |                         | 147,76       |
| ene-03                | 147,76          | 1                | 11,04     | 11,04              | 136,72                     | 63,3218           |              |                       |                         | 136,72       |
| ene-04                | 136,72          | 1                | 12,24     | 12,24              | 124,48                     | 64,0929           |              |                       |                         | 124,48       |
| ene-05                | 124,48          | 1                | 11,16     | 11,16              | 113,32                     | 63,3989           |              |                       |                         | 113,32       |
| ene-06                | 113,32          | 1                | 10,56     | 10,56              | 102,76                     | 63,0134           |              |                       |                         | 102,76       |
| ene-07                | 102,76          | 1                | 12,08     | 12,08              | 90,68                      | 63,9901           |              |                       |                         | 90,68        |
| ene-08                | 90,68           | 1                | 11,96     | 11,96              | 78,72                      | 63,913            |              |                       |                         | 78,72        |
| ene-09                | 78,72           | 1                | 12        | 12                 | 66,72                      | 63,9387           |              |                       |                         | 66,72        |
| ene-10                | 66,72           | 1                | 10,2      | 10,2               | 56,52                      | 62,782            | 2            | 9                     | 103,48                  | 160          |
| ene-11                | 160             | 1                | -18,16    | -18,16             | 160                        | 63,0648           |              |                       |                         | 160          |
| ene-12                | 160             | 1                | -569,28   | -569,28            | 160                        | 63,6303           |              |                       |                         | 160          |
| ene-13                | 160             | 1                | 11,6      | 11,6               | 148,4                      | 63,6817           |              |                       |                         | 148,4        |
| ene-14                | 148,4           | 1                | 11,16     | 11,16              | 137,24                     | 63,3989           |              |                       |                         | 137,24       |
| ene-15                | 137,24          | 1                | 12,16     | 12,16              | 125,08                     | 64,0415           |              |                       |                         | 125,08       |
| ene-16                | 125,08          | 1                | 12,24     | 12,24              | 112,84                     | 64,0929           |              |                       |                         | 112,84       |
| ene-17                | 112,84          | 1                | -80,7     | -80,7              | 193,54                     | 129,034           |              |                       |                         | 193,54       |
| ene-18                | 193,54          | 1                | 21,25     | 21,25              | 172,29                     | 139,733           |              |                       |                         | 172,29       |
| ene-19                | 172,29          | 1                | 21,15     | 21,15              | 151,14                     | 139,637           |              |                       |                         | 151,14       |
| ene-20                | 151,14          | 1                | 23,32     | 23,32              | 127,82                     | 142,432           | 3            | 10                    | 193,48                  | 321,3        |
| ene-21                | 321,3           | 1                | 24,37     | 24,37              | 296,93                     | 143,782           |              |                       |                         | 296,93       |
| ene-22                | 296,93          | 1                | 23,55     | 23,55              | 273,38                     | 142,721           |              |                       |                         | 273,38       |
| ene-23                | 273,38          | 1                | 24,82     | 24,82              | 248,56                     | 144,36            |              |                       |                         | 248,56       |
| ene-24                | 248,56          | 1                | 20,17     | 20,17              | 228,39                     | 148,216           |              |                       |                         | 228,39       |
| ene-25                | 228,39          | 1                | 12,37     | 12,37              | 216,02                     | 128,359           |              |                       |                         | 216,02       |
| ene-26                | 216,02          | 1                | 22,05     | 22,05              | 193,97                     | 140,794           |              |                       |                         | 193,97       |
| ene-27                | 193,97          | 1                | 22,05     | 22,05              | 171,92                     | 140,794           |              |                       |                         | 171,92       |
| ene-28                | 171,92          | 1                | 23,47     | 23,47              | 148,45                     | 142,625           |              |                       |                         | 148,45       |
| ene-29                | 148,45          | 1                | 22,95     | 22,95              | 125,5                      | 141,95            | 4            | 9                     | 195,8                   | 321,3        |
| ene-30                | 321,3           | 1                | 23,62     | 23,62              | 297,68                     | 142,818           |              |                       |                         | 297,68       |
| ene-31                | 297,68          | 1                | 22,72     | 22,72              | 274,96                     | 141,661           |              |                       |                         | 274,96       |
| feb-01                | 274,96          | 1                | 23,1      | 23,1               | 251,86                     | 142,143           |              |                       |                         | 251,86       |
| feb-02                | 251,86          | 1                | 28,95     | 28,95              | 222,91                     | 207,496           |              |                       |                         | 222,91       |
| feb-03                | 222,91          | 1                | 26,77     | 26,77              | 196,14                     | 204,7             | 5            | 5                     | 125,16                  | 321,3        |
| feb-04                | 321,3           | 1                | 25,05     | 25,05              | 296,25                     | 202,483           |              |                       |                         | 296,25       |
| feb-05                | 296,25          | 1                | 27,9      | 27,9               | 268,35                     | 206,146           |              |                       |                         | 268,35       |
| feb-06                | 268,35          | 1                | -49,85    | -49,85             | 321,3                      | 196,7             |              |                       |                         | 321,3        |
| feb-07                | 321,3           | 1                | 20,25     | 20,25              | 301,05                     | 196,314           |              |                       |                         | 301,05       |

|              |        |   |        |        |        |         |    |   |                |        |
|--------------|--------|---|--------|--------|--------|---------|----|---|----------------|--------|
| feb-08       | 301,05 | 1 | 38,94  | 38,94  | 262,11 | 330,502 | 6  | 5 | 219,84         | 481,95 |
| feb-09       | 481,95 | 1 | -28,59 | -28,59 | 481,95 | 312,901 |    |   |                | 481,95 |
| feb-10       | 481,95 | 1 | 35,31  | 35,31  | 446,64 | 323,504 |    |   |                | 446,64 |
| feb-11       | 446,64 | 1 | 34,87  | 34,87  | 411,77 | 322,656 |    |   |                | 411,77 |
| feb-12       | 411,77 | 1 | 40,7   | 40,7   | 371,07 | 333,895 |    |   |                | 371,07 |
| feb-13       | 371,07 | 1 | 37,95  | 37,95  | 333,12 | 328,594 |    |   |                | 333,12 |
| feb-14       | 333,12 | 1 | 34,43  | 34,43  | 298,69 | 321,808 | 7  | 6 | 183,26         | 481,95 |
| feb-15       | 481,95 | 1 | 37,4   | 37,4   | 444,55 | 327,533 |    |   |                | 444,55 |
| feb-16       | 444,55 | 1 | 41,25  | 41,25  | 403,3  | 334,955 |    |   |                | 403,3  |
| feb-17       | 403,3  | 1 | 48,07  | 48,07  | 355,23 | 348,103 |    |   |                | 355,23 |
| feb-18       | 355,23 | 1 | 42,79  | 42,79  | 312,44 | 337,924 | 8  | 4 | 169,51         | 481,95 |
| feb-19       | 481,95 | 1 | 31,02  | 31,02  | 450,93 | 315,234 |    |   |                | 450,93 |
| feb-20       | 450,93 | 1 | 33,11  | 33,11  | 417,82 | 319,263 |    |   |                | 417,82 |
| feb-21       | 417,82 | 1 | 38,17  | 38,17  | 379,65 | 329,018 |    |   |                | 379,65 |
| feb-22       | 379,65 | 1 | 43,23  | 43,23  | 336,42 | 338,772 | 9  | 4 | 145,53         | 481,95 |
| feb-23       | 481,95 | 1 | 40,59  | 40,59  | 441,36 | 333,683 |    |   |                | 441,36 |
| feb-24       | 441,36 | 1 | 44,99  | 44,99  | 396,37 | 342,165 |    |   |                | 396,37 |
| feb-25       | 396,37 | 1 | 49,83  | 49,83  | 346,54 | 351,496 | 10 | 3 | 135,41         | 481,95 |
| feb-26       | 481,95 | 1 | 48,73  | 48,73  | 433,22 | 349,375 |    |   |                | 433,22 |
| feb-27       | 433,22 | 1 | 47,19  | 47,19  | 386,03 | 346,406 |    |   |                | 386,03 |
| feb-28       | 386,03 | 1 | -9,18  | -9,18  | 395,21 | 336,44  |    |   |                | 395,21 |
| mar-01       | 395,21 | 1 | 35,97  | 35,97  | 359,24 | 324,776 |    |   |                | 359,24 |
| mar-02       | 359,24 | 1 | 41,03  | 41,03  | 318,21 | 334,531 | 11 | 5 | 163,74         | 481,95 |
| mar-03       | 481,95 | 1 | 39,6   | 39,6   | 442,35 | 331,774 |    |   |                | 442,35 |
| mar-04       | 442,35 | 1 | 46,42  | 46,42  | 395,93 | 344,922 |    |   |                | 395,93 |
| mar-05       | 395,93 | 1 | 48,18  | 48,18  | 347,75 | 348,315 | 12 | 3 | 134,2          | 481,95 |
| mar-06       | 481,95 | 1 | 44,99  | 44,99  | 436,96 | 342,165 |    |   |                | 436,96 |
| mar-07       | 436,96 | 1 | 42,57  | 42,57  | 394,39 | 337,5   |    |   |                | 394,39 |
| mar-08       | 394,39 | 1 | 44,55  | 44,55  | 349,84 | 341,317 |    |   |                | 349,84 |
| mar-09       | 349,84 | 1 | 34,87  | 34,87  | 314,97 | 322,656 | 13 | 4 | 166,98         | 481,95 |
| mar-10       | 481,95 | 1 | 18,75  | 18,75  | 463,2  | 388,786 |    |   |                | 463,2  |
| mar-11       | 463,2  | 1 | 21,5   | 21,5   | 441,7  | 395,854 |    |   |                | 441,7  |
| mar-12       | 441,7  | 1 | 22,88  | 22,88  | 418,82 | 399,389 |    |   |                | 418,82 |
| mar-13       | 418,82 | 1 | 22,38  | 22,38  | 396,44 | 398,116 | 14 | 4 | 246,16         | 642,6  |
| mar-14       | 642,6  | 1 | 22,82  | 22,82  | 619,78 | 399,247 |    |   |                | 619,78 |
| mar-15       | 619,78 | 1 | 25,85  | 25,85  | 593,93 | 407,023 |    |   |                | 593,93 |
| mar-16       | 593,93 | 1 | 24,64  | 24,64  | 569,29 | 403,913 |    |   |                | 569,29 |
| mar-17       | 569,29 | 1 | 24,42  | 24,42  | 544,87 | 403,347 |    |   |                | 544,87 |
| mar-18       | 544,87 | 1 | 25,19  | 25,19  | 519,68 | 405,326 |    |   |                | 519,68 |
| mar-19       | 519,68 | 1 | 25,52  | 25,52  | 494,16 | 406,175 |    |   |                | 494,16 |
| mar-20       | 494,16 | 1 | 26,73  | 26,73  | 467,43 | 409,285 |    |   |                | 467,43 |
| mar-21       | 467,43 | 1 | 26,34  | 26,34  | 441,09 | 408,295 |    |   |                | 441,09 |
| mar-22       | 441,09 | 1 | 27,11  | 27,11  | 413,98 | 410,274 |    |   |                | 413,98 |
| mar-23       | 413,98 | 1 | 27,94  | 27,94  | 386,04 | 412,395 |    |   |                | 386,04 |
| mar-24       | 386,04 | 1 | 29,26  | 29,26  | 356,78 | 415,788 |    |   |                | 356,78 |
| <b>TOTAL</b> |        |   |        |        |        |         |    |   | <b>2342,55</b> |        |

