UNIVERSIDAD DE CIEGO DE ÁVILA
MÁXIMO GÓMEZ BÁEZ
Facultad de Ciencias Agropecuarias

TRABAJO DE DIPLOMA

Parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos para el cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en el organopónico Curva de Ortiz, municipio Ciego de Ávila

Autor: Lisandra Magaña Berrío.

Tesis presentada en opción al título
de Ingeniero Agrónomo.

Ciego de Ávila, 2018

UNIVERSIDAD DE CIEGO DE ÁVILA
MÁXIMO GÓMEZ BÁEZ
Facultad de Ciencias Agropecuarias

TRABAJO DE DIPLOMA

Parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos para el cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en el organopónico Curva de Ortiz, municipio Ciego de Ávila

Autor: Lisandra Magaña Berrío.
Tutor: Oscar Brown Manrique, Dr.C; PT.

Tesis presentada en opción al título
de Ingeniero Agrónomo.

Ciego de Ávila, 2018

Pensamiento

…La alimentación y la agricultura son el frente y la espalda de un mismo cuerpo…

Masanobu Fukuoka

Agradecimientos

Damos gracias primordialmente a Dios por darnos la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para ejercer este proyecto.

Muestro mis más sinceros agradecimientos a mi tutor de proyecto Dr.C. Oscar Brown Manrique, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que pudiera desarrollar una serie de hechos que fueron imprescindibles para cada etapa de desarrollo del trabajo.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

A mis compañeros de tesis porque en armonía o no lo hemos logrado y hemos concluido juntos parte de nuestra etapa de estudios.

Por último, quiero agradecer a la base de todo, a mi familia, en especial a mis padres, quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

¡Muchas gracias por todo!

Dedicatoria

A Dios: por permitirme tener la fuerza para terminar mi carrera.

A mis padres y hermanos en especial a mi madre Elsa Elena Berrío Sánchez y mi hermano Adrián Martínez Berrío, que por distintos motivos están lejos de mí, pero los tengo muy presentes en mi vida porque fueron ellos los que me dieron fuerza día a día para seguir adelante y no me dejaron rendirme nunca por lo tanto estarán siempre en mi corazón…

A toda mi familia porque de una forma u otra estuvieron presentes en mi vida y me apoyaron en todo lo que estuvo a su alcance.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

SÍNTESIS

Se muestran los resultados de la investigación desarrollada en la unidad organopónica “Curva de Ortiz”, localizado en el Consejo Popular Indalecio Montejo, Reparto Ortiz del municipio Ciego de Ávila. El trabajo tuvo como objetivo determinar los parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos que contribuyan al desarrollo del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones del organopónico. Los resultados logrados indican que las etapas vegetativas del cultivo: germinación, emergencia, primera hoja primaria, tercera hoja trifoliada y reproducción tuvieron una duración de 5, 4, 4, 4 y 34 días respectivamente. El aforo volumétrico del emisor determinó un caudal promedio de 0,30 m^3/h; lo que permite la aplicación de un volumen total de 2821,5 L en un tiempo promedio de riego de 20 minutos. Los aportes de agua por las precipitaciones diarias fueron de 30000 L durante todo el período de desarrollo del cultivo. El rendimiento de la habichuela fue de 1026,2 kg/ha acorde con el rango informado para esta especie. Para producir un kilogramo de habichuela se requiere 0,52 m^3 de agua y 5,40 kW de energía eléctrica. Para bombear un metro cúbico de agua para el riego de la habichuela se necesitan 10,37 kW de energía eléctrica.

SUMMARY

The results of the investigation developed in the "Curva de Ortiz" organoponic unit, located in the Popular Council Indalecio Montejo, Allotment Ortiz of the Ciego de Avila municipality are shown. The objective of the work is to determine the agronomic, hydraulic and energy parameters that contribute to the development of the cultivation of the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under organoponic conditions. The achieved results indicate that the vegetative stages of the cultivation: germination, emergency, first primary leaf, third leaf and reproduction had a duration of 5, 4, 4, 4 and 34 days respectively. The volumetric gauging capacity of the emitter determined a flow average of 0,30 m3/h; what allows the application of a total volume of 2821,5 L at average irrigation time of 20 minutes. The contributions of water for the daily precipitations were of 30000 L during the whole period of development of the cultivation. The yield of the bean was of 1026,2 kg/ha in agreement with the informed range for this species. To produce a kilogram of bean it is required 0,52 m3 of water and 5,40 kW of electric power. To pump a meter cube of water for irrigation of the bean they are needed 10,37 kW of electric power.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 9
1. REVISIÓN BIBLIOGRÀFICA 12
1.1 Importancia del cultivo de habichuela 12
1.2 Descripción de la planta 14
1.3 Clasificación taxonómica del cultivo de la habichuela 15
1.4 Comportamiento fenológico de la habichuela 15
1.5 Condiciones agroecológicas 17
1.6 Siembra y manejo del cultivo de habichuela 18
1.6.1 Siembra 19
1.6.2 Fertilización 19
1.6.3 Riego 20
1.6.4 Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades 21
1.6.5 Control de Malezas 22
1.6.6 Factores ambientales para la producción 22
1.7 Conclusiones parciales 23
2. MATERIALES Y MÉTODOS 25
2.1 Localización de la investigación 25
2.2 Diseño experimental 27
2.3 El análisis estadístico 27
2.4 Mediciones de crecimiento y desarrollo del cultivo 27
2.5 Mediciones hidráulicas 28
2.6 Medición de los componentes del rendimiento del cultivo 28
2.7 Indicadores de consumo de agua y energía 30
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 31
3.1 Diagnóstico de las condiciones técnicas de la unidad organopónica 31
3.2 Análisis de las etapas de las fases vegetativas. 35
3.3 Determinación del consumo de agua 40
3.4 Análisis de las labores fitotécnicas 42
3.5 Análisis de componentes del rendimiento del cultivo de habichuela 42
3.6 Análisis de los indicadores de consumo de agua y energía 44
CONCLUSIONES 46
RECOMENDACIONES 47

INTRODUCCIÓN

La habichuela (*Phaseolus vulgaris, L.*) es originaria de Mesoamérica y la zona Andina donde se encuentran los centros primarios de diversificación (Vallejo y Estrada, 2004). Es un cultivo que se encuentra alrededor del mundo y se consume como una hortaliza verde de mucha importancia en regiones como Europa, Norteamérica, África y Latinoamérica (Argumedo y Guardia, 2011).

Este cultivar es uno de los cultivos más importante en el mundo, tanto por la superficie cultivada como por el destino que recibe la producción. Esta leguminosa es básica en la alimentación como proveedor de proteína vegetal, la cual juega un papel de vital importancia en la dieta de la población y es una valiosa alternativa al problema de la deficiencia proteínica en muchas regiones del mundo (Oviedo, 1986; Minaya y Monción, 1984).

El cultivo de la habichuela se justifica a nivel mundial debido a su adaptación a cualquier rotación de cultivos y su utilización en sustitución de otros cultivos por su rápido desarrollo (Trujillo y Guanche, 2010).

En Cuba la habichuela es una de las hortalizas cultivadas más importantes del país, pues su contenido nutricional, su demanda por parte de los consumidores y la posibilidad de manejar precios relativamente estables, permiten que sea una alternativa interesante para los agricultores (García 1998).

El INIFAT ha considerado que la actividad agropecuaria en el país ha transitado por una etapa de reordenamiento, tanto desde el punto de vista organizativo como de infraestructura y tecnológica; por ello, se han construido más de 8 mil 323 hectáreas de organopónicos, huertos intensivos y unidades de cultivos

semiprotegidos. Estas cifras demuestran que la Agricultura Urbana se ha ido consolidando, sin embargo, aún es necesario su perfeccionamiento.

El estudio de las investigaciones realizado en diferentes organopónico del país y particularmente de la provincia Ciego de Ávila permitió determinar la siguiente **problemática**:

- Poca experiencia de los operarios en el manejo de la técnica de riego.
- Carencia de información sobre parámetros de funcionamiento del sistema de micro-irrigación instalado.
- Desarrollo de forma empírica de la actividad del riego, en los diferentes canteros con que cuenta el organopónico.
- No se conocen los efectos de relación entre el riego, los rendimientos de la habichuela y el consumo de energía.

La problemática descrita revela la contradicción entre la necesidad de mejorar la productividad en el cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulg*aris L.) y las carencias para lograr el manejo eficiente del sistema de riego en condiciones de organopónico. Lo expresado anteriormente conduce a la formulación del siguiente **problema científico:** ¿Cómo contribuir al mejoramiento de la productividad en el cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en una unidad organopónica?

Como **objeto de estudio** se plantea: el riego localizado en cultivos de hortalizas y como **campo de acción** los parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos del riego del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de organopónico.

La **hipótesis** planteada considera que si se determinan los parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos del riego, a partir del diagnóstico tecnológico, las etapas fenológicas del cultivo, el análisis de las lluvias diarias, el aforo de los emisores, la producción del cultivo y el consumo de energía eléctrica;

entonces se podrá contribuir al mejoramiento de productividad del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en el organopónico Curva de Ortiz en el municipio Ciego de Ávila; siendo la **variable independiente** los parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos del riego y la **variable dependiente** el mejoramiento de la productividad en el desarrollo del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en una unidad organopónica.

Para la solución del problema se traza como **objetivo general**: determinar los parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos que contribuyan al mejoramiento de la productividad en el cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris L.*) en las condiciones del organopónico Curva de Ortiz en la Ciudad de Ciego de Ávila. Como **objetivos específicos** se formulan las siguientes:

1. Determinar el estado del sistema de riego mediante el diagnostico tecnológico.
2. Determinar la dinámica del crecimiento y desarrollo del cultivo en las diferentes etapas fenológicas.
3. Calcular los parámetros de funcionamiento del sistema de riego en condiciones de organopónico.
4. Definir los indicadores hidráulicos y energéticos asociados a la producción de habichuela.

La **novedad científica** de la investigación radica en abordar el mejoramiento de la productividad del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de organopónico a partir de la integración de los parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos del sistema de riego.

La **contribución a la práctica** radica en la propuesta de los parámetros agronómicos, hidráulicos y energéticos del sistema de riego para contribuir al mejoramiento de la productividad del cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de organopónico.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Importancia del cultivo de habichuela

Las habichuelas, *Phaseolus vulgaris L*., comprenden un grupo del frijol común, cuyas vainas y semillas inmaduras se consumen como hortaliza verde. La clasificación se basa en las características de la vaina y en el tipo de planta (hábito) que se puede asociar con la facilidad del proceso de mecanización para la cosecha (Ramírez y Dessert, 1984; Federación Nacional de Cafeteros, 1989; Myers y Baggett, 1999; Beaver, 2003).

Este cultivo es uno de los más importante en todo el mundo, es particular en América Latina, donde ocupa un lugar básico en la alimentación humana por su significativo aporte de proteína vegetal, por lo que es una valiosa alternativa al problema de la deficiencia proteínica en muchas regiones del mundo (Oviedo, 1986; Minaya y Monción, 1984).

En los últimos años, la producción de habichuelas se ha convertido en un rubro importante debido a las mejoras y ampliación de las estructuras de riego y por el desarrollo de tecnologías de producción del cultivo, que les han permitido a los agricultores, reducir los riegos en el manejo de sus plantaciones de habichuela (Álvarez y Fragoso, 1989; Arnaud *et al*, 1993). En la figura 1.1 se muestra un sistema productivo para el desarrollo comercial de este cultivo.

Figura 1.1 Plantaciones de habichuela.

La habichuela es un cultivo de reconocidas propiedades alimenticias y usos industriales; por lo que puede utilizarse tanto la vaina como el grano. Hoy en día, se encuentra ampliamente distribuida por diferentes partes de los trópicos, subtrópicos y en regiones templadas, de manera que es la legumbre más importante en América Latina y en diferentes partes de África (Huerres, 1991; Hernández et al., 2010).

Se ha señalado a América como sitio de origen de la habichuela, principalmente a México y Guatemala, en Centroamérica, y Perú, en Suramérica. Cabe anotar que la habichuela que se cultiva como verdura tiene su origen en Europa y es el resultado de mutaciones genéticas del fríjol común, introducido en América después de su descubrimiento. Posteriormente, el material de este tipo se introdujo a Norteamérica, donde se lograron importantes avances en calidad y rendimiento de nuevas variedades (Higuita *et al*., 1998).

1.2 Descripción de la planta

La habichuela es una planta anual, con sistema radicular bien desarrollado y de crecimiento muy rápido y penetrante (hasta 140 cm). Se compone de una raíz principal con muchas raíces secundarias localizadas en la parte superior. Posee tallos delgados, débiles, angulosos, de sección cuadrangular y de altura variable, las hojas son grandes generalmente de forma cuadrangular o triangular, de pendiendo de la variedad. Las flores son de color blanco reunidas en racimos en número de 2 a 8 que están insertos en las hojas, sus vainas más o menos largas, colgantes, con formas diversas según las variedades pueden acabar en punta afilada o roma. La semilla es de forma oblonga, ovalada o reniforme, según la relación longitud/ ancho. El número de semillas por vaina oscila entre 5 a 12 (Huerres, 1991; Saladín, 1995). Según Acosta y Santamaría (1999), la composición química de las judías verdes es:

- Agua 90%.
- Hidratos de carbono 5% (fibra 2, 5%).
- Proteínas 2%.
- Lípidos 0, 2%.
- Sodio 10 mg/100 g.
- Potasio 270 mg/100 g.
- Calcio 40 mg/100 g.
- Fósforo 40 mg/100 g.
- Hierro 1 mg/100 g.
- Vitamina A 67 mg/100 g.
- Vitamina C 24 mg/100 g.
- Vitamina B1 0, 06 mg/100 g.
- Vitamina B2 0, 1 mg/100 g.
- Vitamina B3 60 microgramos /100 g.

1.3 Clasificación taxonómica del cultivo de la habichuela

Taxonómicamente, la habichuela pertenece al orden de las leguminosas, familia p*apilionaceae*, género *phaseolus* y especie *vulgaris*; al igual que el frijol común, debido a que es una mutación o selección especial de este, por lo que se le denomina frijol verde o judía. De igual forma, el comportamiento agronómico de estas dos variedades es similar, diferenciándose por la textura de la vaina, la cual es carnosa por no formar fibra, lo que evita que se abra, haciéndola apta para el consumo en verde. El contenido nutricional de la habichuela se caracteriza por tener buenos niveles de vitaminas A, tiamina, riboflavina, niacina, vitamina C y elementos como Ca, Mg, Na, P y K (UNAD, 2016). Según Huerres (1991) la clasificación taxonómica de este cultivo es:

- **Nombre científico:** Phaseolus vulgaris L.
- **Nombre común:** habichuela, judía, frijol poroto.
- **Reino:** *Plantae.*
- **División***: Magnoliophyta.*
- **Clase:** *Magnoliopsida.*
- **Orden:** *Fabales.*
- **Familia:** *Fabaceae.*
- **Género:** *Phaseolus.*
- **Especie:** *P. vulgaris.*

1.4 Comportamiento fenológico de la habichuela

Existen dos tipos de habichuela: el arbustivo, o de crecimiento determinado, que posee tallos erectos y cuya inflorescencia es un racimo terminal; y el voluble, o de crecimiento indeterminado, con tallos que crecen sobre un tutor y cuya inflorescencia es un racimo axilar (Higuita *et al*., 1998). En la tabla 1.1 se muestra la comparación de algunos aspectos agronómicos entre habichuelas arbustivas y volubles según Higuita *et al*., (1998).

Tabla 1.1 Comparación entre habichuelas arbustivas y volubles.

Tipos de habichuelas	Necesidades hídricas(mm)	Necesidades de siembra(pl/ha)	Período vegetativo(días)
Arbustivo	350	200.000	75-80
		250.000	
Voluble	400	165.000	80-100
		210.000	

El ciclo productivo de la habichuela se desarrolla a través de una etapa vegetativa y una etapa reproductiva. La etapa vegetativa es: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada, tercera hoja trifoliada y la etapa reproductiva: prefloración, floración, formación de la vaina y llenado de vainas (Acosta y Santamaría, 1999, Hernández *et al*., 2010).

Las observaciones fenológicas en la agricultura son de suma importancia, ya que el conocimiento de las necesidades climáticas de una especie vegetal permite una mejor elección del tipo de producción a implementar en una zona o región Saliceti (2005). En la tabla 1.2 se muestran las diferentes fases fenológicas del cultivo de la habichuela según Acosta y Santamaría (1999).

Tabla 1.2 Etapas de las fases fenológicas del cultivo de habichuela.

Etapa	Nombre de la etapa	Inicio y fin de la etapa
E-0	Germinación	Comienza con la germinación de la semilla y finaliza cuando el hipocótilo crece hasta que los cotiledones queden al nivel del suelo.
E-1	Emergencia	El 50% de la población esperada tiene los cotiledones a nivel del suelo.
E-2	Hojas primarias	El 50% de la población tiene las hojas primarias desplegadas (situadas en el segundo nudo del tallo principal).
E-3	Primera hoja trifoliada	El 50 % de la población tiene la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana.
E-4	Tercera Hoja Trifoliada	El 50 % de la población tiene la tercera hoja trifoliada desplegada. Continúa con cuarta hoja trifoliada, quinta hoja trifoliada, sexta hoja trifoliada, séptima, octava, etc., hasta el hasta la iniciación de la fase reproductiva (E-5).
E-5	Prefloración	El 50% de la población tiene la aparición del primer botón primer racimo.
	Floración	El 50% de la población tiene la primera flor abierta.
	Formación de la vaina	El 50% de la población tiene la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida.
	Llenado de vainas	Comienza cuando el 50% de las plantas empiezan a llenar su primera vaina y finaliza cuando se observa el inicio de la defoliación, en las hojas inferiores que se tornan cloróticas y caen.

1.5 Condiciones agroecológicas

El cultivo de la habichuela se adapta entre los 800 y los 2200 metros sobre el nivel del mar, acortándose el ciclo productivo en zonas más bajas o de mayor temperatura; condición que hace que se incremente el contenido de fibra en la vaina, afectando su calidad (DANE, 2016).

Generalmente el cultivo de habichuela se desarrolla adecuadamente en clima templado, cálido, no tolera heladas, temperaturas superiores a 25ºC afectan su floración (Agudelo, 1988).

Las temperaturas óptimas en las que se desarrolla la habichuela oscilan entre los 20 y los 25 °C; en época de lluvias fuertes y ambientes muy cálidos la producción se ve afectada por la presencia de enfermedades causadas por hongos y la caída de las flores. Así mismo, Los fuertes vientos causan la pérdida de flores y una polinización inadecuada o insuficiente (UNAD, 2016).

Por otra parte, la habichuela requiere de suelos fértiles con buena disponibilidad de calcio (Ca) y adecuado contenido de fósforo (P) y potasio (K), dado que altos niveles de estos dos últimos elementos nutritivos reducen la absorción del magnesio (Mg) y el cinc (Zn) causando deficiencias nutricionales por déficit de estos dos nutrientes. Igualmente, los suelos deben presentar acidez o pH ligeramente ácido (6,0) a neutro (7,0) con baja presencia de aluminio (Al); grados de acidez por fuera del rango establecido, generan condiciones limitantes para la producción. De otra parte, los suelos deberán ser de buena profundidad efectiva, texturas arenosas a arcillosas y bien drenados para evitar el encharcamiento (Higuita *et al*., 1998; UNAD, 2016).

Las condiciones aptas de suelo van desde textura liviana hasta pesada, con buena fertilidad y drenaje; ya que la planta es muy susceptible a los encharcamientos. Los pH más favorables oscilan entre 6,0 y 7,0. (Agudelo, 1988).

1.6 Siembra y manejo del cultivo de habichuela

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, en lo relacionado con los principales efectos causados por el estrés hídrico en el frijol, en este caso por su comportamiento similar con las plantas de habichuela por pertenecer estas a la misma especie, igualmente se presenta reducción en el número de hojas y

ramas, de la floración y en la producción y llenado de vainas, así como daños ocasionados por la mayor incidencia de plagas que se disparan durante las épocas de sequía. En razón a esto, es necesario tomar medidas preventivas, como de mitigación, que se contemplan dentro de la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), las cuales corresponden a normas, principios y recomendaciones técnicas que se aplican en las diversas etapas de la producción agrícola, y de las que hacen parte el Manejo Integrado del Cultivo (MIC), el Manejo Integrado de Riego y Fertilización (MIRFE), el Manejo de malezas y el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), cuyos objetivos son el de minimizar el impacto ambiental y racionalizar el uso de productos fitosanitarios y de los recursos naturales suelo y agua (CCB, 2015).

1.6.1 Siembra

La habichuela tiene un corto ciclo vegetativo, por ello se siembra en todas las épocas del año sin períodos definidos. Lo importante es disponer de riego permanente o, de lo contrario, sembrar al inicio del período de lluvias. En habichuelas de tipos volubles se pueden hacer arreglos para la siembra que van desde 80 a 100 centímetros entre surcos y 25 centímetros entre plantas, usando 2 plantas por sitio; esto corresponde a una densidad de siembra de 100000 u 80000 plantas por hectárea. En sistemas tutorados se pueden usar distancias de 80 a 90 centímetros entre surcos, con dos surcos dobles a 50 centímetros y distancia entre plantas de 15 a 20 centímetros; lo que daría una densidad de siembra de 266400 a 200000 plantas por hectárea. Los espacios entre surcos se utilizan para la aplicación del riego en el cultivo (DANE, 2016).

1.6.2 Fertilización

En el caso de la fertilización es importante contar con el análisis de suelos con el fin de definir las cantidades de enmiendas y fertilizantes a aplicar, teniendo en cuenta la oferta del suelo y las demandas nutricionales. En este orden de ideas, es necesaria la aplicación de correctivos o enmiendas un mes antes de la siembra para ajustar la acidez del suelo y suministra el calcio suficiente, dada la alta demanda de este elemento por la habichuela. De igual forma, se establecen las

cantidades de fertilizantes a aplicar, bien sea en la presiembra o al momento de la emergencia, en razón a que la habichuela es un cultivo de ciclo corto; de acuerdo con los resultados del análisis de suelos, los volúmenes de fertilizantes compuestos a suministrar como el 10-30-10 o 15-15-15, los cuales son fuente de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), podrían ser de 100 a 300 kilogramos por hectárea (DANE, 2016).

1.6.3 Riego

El agua es un elemento indispensable para el crecimiento y desarrollo de cualquier planta, como reactivo en la fotosíntesis, elemento estructural, medio de transporte y regulador de temperatura. Se estima que más del 60% de los cultivos de frijol en el tercer mundo sufren por falta de agua. Estudios realizados para medir el consumo de agua del frijol a lo largo de las etapas de desarrollo han permitido determinar que el mayor consumo se da en las etapas de floración y formación de las vainas. (Ríos, 2002).

La habichuela es una especie muy sensible a la carencia o al exceso de agua; cualquiera de ellos puede ocasionar pérdidas en los rendimientos, la producción y la calidad de las legumbres. Cuando las lluvias no son suficientes, es necesario suministrar una lámina de riegos de 30 milímetros, lo que es equivalente a una aplicación de 300 metros cúbicos de agua por hectárea, aproximadamente cada semana, dependiendo de la textura del suelo (CCB, 2015).

El riego por gravedad es el más aconsejable en terrenos planos o de poca pendiente (Cadavid, 2006; Chanson; 2004; Gribbin, 2016; Moncada *et al*., 2014; Sánchez *et al*., 2002), siempre que se disponga de agua suficiente y pueda ser conducida por los surcos dentro de los cultivos, tanto de tipo arbustivo como voluble. Por su parte, el riego por goteo es el más recomendado en condiciones de baja disponibilidad de agua y debido a las ventajas que ofrece, como:

- Demanda de poca mano de obra en su operación.
- Se adapta a terrenos planos como a los ligeramente y moderadamente pendientes.
- En condiciones de baja disponibilidad de agua para riego, este sistema es muy eficiente, ya que se aprovecha al máximo el recurso del agua.
- Se facilita la aplicación de los fertilizantes en mezcla con el agua de riego.

El riego por aspersión tiene el inconveniente de mojar el follaje (Santos *et al*., 2010; Tarjuelo, 2005), lo cual puede generar la proliferación de enfermedades causadas por hongos. Pero en algunas zonas este será el sistema más conveniente; en este caso es recomendable realizar los riegos en horas de la mañana, cuando las hojas aún están húmedas por el rocío.

Acosta y Santamaría (1999) consideran la necesidad de regar al menos dos veces por semana cuando empiezan a abrir las flores y mantener un nivel de humedad lo más constante posible para conseguir resultados satisfactorios en cantidad y calidad.

1.6.4 Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades

El Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) consiste en adelantar un control integrado de ellas, y así evitar excesivas aplicaciones de plaguicidas, como insecticidas y fungicidas (CCB, 2015). Dentro de las plagas que se presentan con mayor frecuencia e incidencia en los cultivos de habichuela, especialmente durante las épocas de menores lluvias o bajo condiciones de estrés hídrico, se destaca el grupo de insectos chupadores, como: el lorito verde (*Empoasca sp*), las arañitas o ácaros (*Polyphagotarsonemus latus, Tetranychus desertorum*), los áfidos o pulgones (*Aphis tabae, Myzus persicae*) y los trips (*Frankliniella spp*).

1.6.5 Control de malezas

Se estima que, en el cultivo del frijol, las malezas, pueden ocasionar pérdidas entre 15 y 97% en los rendimientos. Además de la reducción cuantitativa, las malezas llegan a afectar cualitativamente la producción al depreciar la calidad del frijol por contaminación con semillas de otras especies y por residuos de plantas. Las malezas compiten con el cultivo por nutrientes, agua, luz y CO_2, y pueden, en determinados casos, ejercer una inhibición química (alelopatía) sobre el desarrollo de los cultivos (Córdoba y Casas, 2003).

Existen varios métodos para el manejo de malezas, por lo tanto, no es aconsejable el uso de uno solo, pero sí la combinación de algunos de ellos. El manejo integrado puede ser efectuado mediante el uso de varios métodos, entre los cuales sobresalen los preventivos, culturales, mecánicos, biológicos y químicos. Dentro de las alternativas de control de malezas, se destaca el control químico siendo un complemento de las prácticas culturales y se le considera el último eslabón del manejo integral de las malezas. Su empleo debe estar sujeto al costo comparado con los beneficios que aporta (Córdoba *et al*., 2005).

1.6.6 Factores ambientales para la producción

En la tabla 1.3 se presentan los rangos de temperatura para las etapas fenológicas de la habichuela (Reché, 2005; Ramírez y Rodríguez, 2015). Para el cultivo de la judía verde en invernadero, en las primeras fases del cultivo debe ser del 60-65%, pudiendo posteriormente oscilar entre el 65-70%, Con una humedad ambiental superior al 70%, hay posibilidad de vaneamiento de flores por deficiente fecundación e incremento de enfermedades que causan pudrición. Si se dan cambios bruscos en los parámetros de temperatura y humedad las flores se desprenden. Es bueno que el agricultor disponga de aparatos que midan la temperatura y la humedad relativa en el interior del invernadero, de manera que pueda corregir mediante diversas acciones los valores si no son adecuados.

Tabla 1.3 Temperatura para el desarrollo de la habichuela.

	Temperaturas		
	Mínima	Óptima	Máxima
Germinación	10°C		15-25°C
Desarrollo del cultivo	10-15°C	20-25°C	30°C
Floración	10-15°C	15-25°C	30°C
Temperatura letal	-1°C		
Temperatura biológica	35°C		
Temperatura por la noche para el desarrollo vegetativo		15-18°C	
Temperatura durante el día para el desarrollo vegetativo		20-25°C	
Temperatura del suelo para la germinación		15-20°C	
Temperatura para la polinización		15-25°C	

En general el cultivo de la habichuela no se ve afectado por el fotoperíodo, que viene determinado por la luminosidad. Las variedades actuales son más exigentes en ciclos de días largos. Por otra parte, las cultivares de enrame son más exigentes en luminosidad que las de porte bajo, principalmente durante el crecimiento. Con una buena ventilación en las horas de la mañana se proporciona a las plantas la cantidad suficiente de anhídrido carbónico difundido en el aire (Reché, 2005).

1.7 Conclusiones parciales

La investigación bibliográfica realizada para actualizar los conocimientos teóricos y metodológicos sobre el cultivo de la habichuela permitió concluir que para la obtención de rendimientos económicos se debe:

- Identificar las áreas con predisposición a mayor pérdida de agua o con tendencia a deficiencias hídricas en el suelo.
- Consultar información sobre zonificación de las zonas críticas o de mayor riesgo agroclimático.
- Incorporar materia orgánica en el suelo para mejorar la circulación y almacenamiento de agua.

- Implementar el uso de coberturas vegetales tipo abonos verdes, para mantener la humedad del suelo y evitar pérdidas excesivas.
- Fortalecer el monitoreo de plagas y los planes integrales de fertilización y nutrición de cultivos.
- Implementar sistemas de riego de alta eficiencia hídrica como el riego por goteo y el establecimiento de técnicas de riego deficitario.
- Realizar actividades de capacitación y sensibilización sobre el aprovechamiento sostenible del agua, manejo adecuado del riego y conservación del suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización de la investigación

La investigación se desarrolló en la unidad organopónica “Curva de Ortiz”, localizado en el Consejo Popular Indalecio Montejo, Reparto Ortiz del municipio Ciego de Ávila (figura 2.1). La entidad productiva cuenta con una superficie total 5000 m^2 de las cuales el área útil es de 3650 m^2 (0,37 ha), lo que representa el 73 % del área total.

Figura 2.1 Organopónico Curva de Ortiz.

El cultivar empleado fue la habichuela de la variedad Taiwanesa. La siembra se realizó el 12 de octubre de 2017, después del riego presiembra con una profundidad de 3 cm y separación entre plantas de 30,0 cm. Las atenciones culturales previo al montaje de los experimentos en los canteros y la siembra se

desarrollaron según lo establecido en el manual para huertos intensivos y organopónico (MINAGRI, 2007). La recolección se inició el 12 de diciembre de 2017 y finalizó tres semanas después; el 26 de diciembre de 2017.

El sistema de riego se compone de una bomba centrífuga (**EB**) de pozo profundo de la marca SAER del año 2006 con un caudal de 5,76 m^3/h y velocidad específica de 3450 rpm. La bomba está conectada a una tubería principal de PVC (**TP**) con 25 mm de diámetro, la cual se conecta mediante una “TE” a la tubería distribuidora (**TD**) de similar característica que la tubería principal en la que se acoplan los diferentes laterales de PVD con diámetros de 12 mm (**TL**) colocados en el centro de cada cantero.

El sistema dispone de 161 canteros con dimensiones de 31,0 m de largo, 1,0 m de ancho y 20,0 cm de altura, donde el agua se distribuye a los cultivos a través de 30 emisores por cantero del tipo microjet (figura 2.2).

Figura 2.2 Emisor microjet en funcionamiento.

2.2 Diseño experimental

La investigación consistió en un experimento en franja completamente aleatorizado desarrollado en tres canteros distribuidos en toda la superficie del organopónico. La unidad experimental tuvo un tamaño de 20,0 m de largo y 1,0 m de ancho. Esta se subdividió en tres partes: inicial, medio y final para lograr mayor representatividad y precisión en los resultados.

2.3 El análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en determinar el comportamiento descriptivo de los componentes de rendimiento del cultivo. Se utilizó la herramienta informática Microsoft Office Excel 2016 por su exactitud y facilidad para el uso ingenieril (Sandoval *et al*; 2017).

2.4 Mediciones de crecimiento y desarrollo del cultivo

Las mediciones realizadas para el control del crecimiento y desarrollo de la habichuela fueron: cantidad de semillas sembradas por cantero, cantidad de plantas germinadas por canteros, porcentaje de germinación (%), densidad de plantas (plantas/m^2), altura de la planta, determinación de las etapas de germinación, emergencia, aparición de la primera hoja primaria, primera hora trifoliada, tercera hoja trifoliada, reproducción (prefloración, floración, formación de vainas y llenado de vainas). La altura de la planta se midió a partir de la superficie del suelo hasta la yema apical del tallo en 10 plantas seleccionadas al azar en cada una de las tres partes en que se subdividió el cantero.

El diagnóstico del estado del sistema de riego y la evolución de las etapas fenológicas del cultivo se realizó mediante el método de registro fotográfico que es una técnica diagnóstica sugerida por Gallego y Cid (2002) por ser de gran utilidad en la investigación de campo; porque permite la obtención de imágenes fotográficas durante el desarrollo del proceso investigativo. En la investigación también se llevó un control sobre la fertilización, plagas y enfermedades durante el ciclo del cultivo.

2.5 Mediciones hidráulicas

El riego se efectuó según las necesidades hídricas del cultivo. Para cuantificar la cantidad de agua aplicada, se determinó el caudal del emisor y el volumen total aplicado al inicio, medio y final del lateral, mediante el aforo volumétrico (Olivera et al., 2014; Pérez, et al., 2013; Roldan y Moreno, 2007). Este procedimiento se repitió durante diez veces; luego se aplicaron las ecuaciones sugeridas por Salas y Brown (2014).

$$q_e = \frac{V_e}{T_e} \tag{1}$$

$$q_m = \frac{\sum q_e}{N} \tag{2}$$

$$V_{LL} = P.A_c.N_{LL}.N_c \tag{3}$$

$$V_R = q_e.T_R.N_R.N_e.N_c \tag{4}$$

$$V_T = V_{LL} + V_R \tag{5}$$

Donde q_e: caudal del emisor (L/h); V_e: volumen del emisor captado en la prueba volumétrica (L); T_e: tiempo de evaluación para medir el caudal (h); q_m: caudal medio del emisor (L/h); V_{LL}: volumen de agua aportado por la lluvia (L); P: precipitación igual a la ET_d del cultivo (5 mm/d); A_c: área del cantero (m^2); N_{LL}: Número de lluvias diarias superiores a 5 mm; N_c: Número de canteros en la unidad organopónica; V_R: volumen de agua aportado por el riego al cantero durante el ciclo del cultivo (L); T_R: Tiempo de riego diario de un cantero (h); N_R: Número de riego en el mes; N_e: Número de emisores por cantero; V_T: volumen total de agua (L).

2.6 Medición de los componentes del rendimiento del cultivo

Los componentes del rendimiento agrícola de la habichuela se obtuvieron a partir del día 59 después de la siembra y el proceso se repitió durante tres semanas seguidas. En el momento de la cosecha se evaluaron 10 plantas seleccionadas

al azar en cada una de las tres partes en que se subdividió el cantero para obtener un total de 30 muestras. Las variables evaluadas fueron:

- Número de vainas por planta.
- Longitud de las vainas (cm).
- Peso de las vainas (g): mediante el pesaje directo de 10 vainas en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Máximo Gómez Báez de Ciego de Ávila, con una balanza digital de la marca NAGEMA con precisión de 0,10 gramos como se muestra en la figura 2.3.
- Número de granos por vainas: mediante el conteo de los granos formados.
- Rendimiento agrícola (kg/ha): se determinó después de cosechar cada parcela, teniendo en cuenta el número de vainas por plantas, masa fresca de las vainas y el número de plantas por metro cuadrado.

Figura 2.3 Pesaje de muestras de cosecha de la habichuela.

El rendimiento del cultivo se calculó mediante la ecuación siguiente:

$$R = \frac{N_{VP}.P_{vaina}.N_{PC}}{A_c}10000 \quad (5)$$

$$A_c = B_c.L_c \quad (6)$$

Donde R: rendimiento del cultivo (kg/ha); N_{VP}: número de vainas por plantas (vainas/plantas); P_{vaina}: peso de las vainas (kg); N_{PC}: número de plantas por cantero (plantas/cantero); A_c: área del cantero (m^2); B_c: ancho del cantero (m); L_c: longitud del cantero (m).

La producción del cultivo se calculó mediante la siguiente expresión:

$$P = R.A_c.N_c \tag{7}$$

Donde P: producción del cultivo (kg); R: rendimiento del cultivo (kg/ha); A_c: área del cantero (ha); N_c: número de canteros.

.

2.7 Indicadores de consumo de agua y energía

Los indicadores relacionados con el consumo de agua y energía eléctrica en la producción de habichuela en el organopónico “Curva de Ortiz” se estimaron a partir de las ecuaciones siguientes:

$$CAP = \frac{V_T}{P} \tag{8}$$

$$CEP = \frac{E}{P} \tag{9}$$

$$CEA = \frac{E}{V_T} \tag{10}$$

Dónde: CAP: consumo de agua por unidad de producción (m^3/kg); CEP: consumo de energía eléctricas por unidad de producción (kW/kg); CEA: Consumo de energía eléctricas por unidad de agua bombeada (kW/m^3); V_T: Volumen total de agua aplicada al cultivo (m^3); P: Producción obtenida (kg); E: Energía consumida en un ciclo de cultivo (kW). Se obtuvo de las facturas de consumo de electricidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los resultados fundamentales de la investigación desarrollada en el período comprendido entre octubre y diciembre en el organopónico Curva de Ortiz de la ciudad de Ciego de Ávila en el que se puso precisar experimentalmente las etapas fisiológica de desarrollo, crecimiento y reproducción del cultivo de habichuela, los parámetros de funcionamiento de la técnica de riego utilizada y algunos indicadores relacionadas con el uso del agua y la energía.

3.1 Diagnóstico de las condiciones técnicas del organopónico

Los resultados del diagnóstico demuestran que en el sistema de riego existente en la unidad organopónica se presentan problemas tecnológicos que atentan contra la eficiencia global de la instalación y afectan el ahorro de agua y energía. La utilización de esta herramienta permitió comprobar que:

En la unidad de bombeo se encuentra un sistema de control en buen estado (figura 3.1) y un manómetro en estado de buen funcionamiento para mediar la presión de la bomba en el punto de descarga hacia la tubería de riego de 50 mm de diámetro (figura 3.2); aunque la solución empleada para evitar la fuga de agua entre la tubería y la brida de hierro fundido no es recomendada.

Figura 3.1 Estado técnico favorable en los sistemas de control.

Figura 3.2 Falta de mantenimiento en la tubería de descarga de la bomba.

En la red de riego se identificaron problemas serios de pérdidas de agua por rotura de la tubería de riego aguas debajo de la unidad de bombeo, lo cual se demuestra por la acumulación de agua en la superficie del terreno (figura 3.3 y 3.4) y falta de mantenimiento el algunas parte de la tubería de riego, que se comprueba por el crecimiento de vegetación indeseable que cubre la tubería y la

expone frente al peligro de que sufra alguna rotura por corte o aplastamiento por algún equipo pesado por desconocimiento de su existencia en ese lugar del sistema (figura 3.5). Para la solución de este problema es necesario acciones de eliminación de salideros y de la vegetación indeseable por parte de los obreros de la unidad organopónica. En este sentido Ferrer (2010) destaca que las obras hidráulicas, entre las que se encuentran los sistemas de riego, están sometidas a la acción de múltiples agentes externos, que atentan contra su seguridad y, por lo tanto, requieren de un mantenimiento permanente, para garantizar que las condiciones iníciales que han disminuido, por el efecto del deterioro de los componentes de las estructuras que la conforman.

Figura 3.3 Estado técnico de la conexión entre tubería principal y distribuidora.

Figura 3.4 Fuga de agua en la tubería principal.

Figura 3.5 Falta de mantenimiento en partes de la red de riego.

3.2 Análisis de las etapas de las fases vegetativas.

En la tabla 3.1 se muestran los resultados del análisis de las etapas de las fases vegetativas del cultivo de la habichuela. Los fundamentales aspectos a resaltar de este estudio son los siguientes:

- La duración de las etapas E-0; E-1; E-2; E-3 y E-4 oscila entre cuatro y cinco días; siendo el valor promedio de cuatro días.
- La duración de la etapa reproductiva E-5 es de 34 días. Las subetapas de floración (E-5b); formación de vainas (E-5c) y llenado de vainas (E-5d) tienen un tiempo de duración de 6, 3 y 4 días respectivamente; mientras que la de prefloración (E-5a) fue la más larga con 21 días.
- La etapa de floración comenzó a los 44 días de sembrado el cultivo.
- El llenado de los granos ocurrió a los 51 día de la siembra.
- La primera cosecha se produjo a los 59 días a partir de la siembra; el día 12 de diciembre de 2017 cuando las vainas alcanzaron su madurez biológica.

Tabla 3.1 Duración de las etapas de las fases vegetativas de la habichuela.

Etapa	E-0		E-1		E-2		E-3		E-4		E-5	
	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin
Fecha	12-10-2017	17-10-2017	17-10-2017	19-10-2017	19-10-2017	23-10-2017	23-10-2017	27-10-2017	27-10-2017	31-10-2017	31-10-2017	4-12-2017
Duración (días)	5		2		4		4		4		34	
Acumulado (días)	5		7		11		15		19		53	

Sub etapas	E-5a		E-5b		E-5c		E-5d	
	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin	Ini	Fin
Fecha	31-10-2017	21-11-2017	21-11-2017	27-11-2017	27-11-2017	30-11-2017	30-11-2017	4-12-2017
Duración (días)	21		6		3		4	
Acumulado (días)	40		46		49		53	

En las figuras desde la 3.6 a la 3.14 se muestra en secuencia de fotografías la evolución del cultivo de habichuela desde la etapa de germinación hasta la fase reproductiva bajo las condiciones específicas imperantes en el organopónico Curva de Ortiz. Estos resultados son similares a los publicados por otros investigadores como Acosta y Santana (1999); Trujillo y Guanche (2010).

Figura 3.6 Etapa E-0; germinación de la habichuela (17/10/2017).

Figura 3.7 Etapa E-1; emergencia de la habichuela (19/10/2017)

Figura 3.8 Etapa E-2; hoja primaria desplegada (23/10/2017)

Figura 3.9 Etapa E-3; primera hoja trifoliada (27/10/2017)

Figura 3.10 Etapa E-4; tercera hoja trifoliada (31/10/2017)

Figura 3.11 Etapa E-5a; prefloración (21/11/2017).

Figura 3.12 Etapa E-5b; floración (27/11/2017)

Figura 3.13 Etapa E-5c; formación de vainas (30/11/2017)

Figura 3.14 Etapa E-5d; llenado de vainas (04/12/2017)

3.3 Determinación del consumo de agua

En la tabla 3.2 se muestran los resultados del consumo de agua con fines de riego en el organopónico a partir del aforo volumétrico realizado en la investigación. Se demuestra que el caudal promedio del emisor es de 0,30 m^3/h. El mayor valor es de 0,33 m^3/h y el menor de 0,28 m^3/h, por lo que la diferencia entre ambos extremos es de 13,8% que se considera apropiado al ser inferior que el 20%. En estas condiciones el riego se considera uniforme.

Tabla 3.2 Aforo volumétrico de los emisores.

Posición del emisor	q_e **(m^3/h)**
Inicio	0,33
Medio	0,30
Final	0,28
Promedio	**0,30**

En la tabla 3.3 se muestran que las precipitaciones en el mes de octubre fueron abundantes con una lámina de 186, 1 mm y en todos los casos fue superior a 5 mm/d que es la necesidad de evapotranspiración promedio diario del cultivo. En el mes de noviembre las magnitudes de las lluvias fueron menores en relación al mes anterior con un valor de 23,4 mm y en el mes de diciembre las lluvias fueron prácticamente nulas.

Tabla 3.3 Precipitaciones ocurridas durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Octubre	***P* (mm)**	**Noviembre**	***P* (mm)**	**Diciembre**	***P* (mm)**
Día 13	6,0	Día 04	2,8	Día 04	0,6
Día 18	35,7	Día 07	3,0		
Día 20	9,4	Día 14	5,9		
Día 21	18,4	Día 17	6,0		
Día 24	19,0	Día 21	4,9		
Día 27	23,1	Día 27	0,8		
Día 28	74,5				
Σ	186,1		23,4		0,6

En la tabla 3.4 se observa que el volumen de agua de lluvia utilizadas realmente por el cultivo fue de 30,0 m^3; pues hubo un exceso de precipitación de 136,1 mm. El volumen total de agua aplicada por medio del riego fue de 2821,5 L y el volumen total debido a los aportes de la lluvia fue de 30000,0 L; sin embargo, teniéndose en consideración el número de riegos totales, la cantidad de emisores por cantero (25) y la cantidad de canteros (30) se obtuvo que se necesitan 32821,5 L (32,8 m^3) para el riego de todo el organopónico durante el período de desarrollo vegetativo del cultivo.

Tabla 3.4 Volumen de total de agua aplicadas.

Mes	N_{LL}	N_R	V_{LL} **(L)**	V_R **(L)**	V_T **(L)**
Octubre	7	13	21000,0	965,3	21965,3
Noviembre	3	17	9000,0	1262,3	10262,3
Diciembre	0	8	0,0	594,0	594,0
Total	10	38	30000,0	2821,5	32821,5

Durante el ciclo vegetativo del cultivo las lluvias sustituyeron 10 riegos y fue necesario aplicar 38 riegos; el primero de ellos de presiembra y los restantes se realizaron de forma diaria con un tiempo de duración promedio de 20 minutos (0,33 h).

3.4 Análisis de las labores fitotécnicas

En el cultivo se aplicó abono orgánico producido en la fábrica de Ciro Redondo al inicio de la siembra durante el proceso de preparación de los canteros. La dosis promedio aplicada fue de 10 kg/cantero y Fitomax que se aplicó como insecticida el 21/11/2017 para evitar la proliferación de plagas. Se realizaron un total de seis limpiezas de cantero manuales en las fechas de 20/10/2017; 27/10/2017; 03/11/2017; 09/11/2017; 13/11/2017 y 27/11/2017.

3.5 Análisis de componentes del rendimiento del cultivo

En la tabla 3.5 se exponen los resultados de los parámetros asociados a los componentes del rendimiento del cultivo de habichuela y en la tabla 3.6 los principales estadígrafos del análisis descriptivo de las variables estudiadas. Se comprobó que como promedio se alcanzaron ocho vainas por planta las cuales pesaron cuatro gramos con una longitud de 14 cm y 19 granos por planta (figura 3.15).

El rendimiento alcanzado llegó a 1026,2 kg/ha y la producción a 2,1 kg/cantero que para toda la unidad organopónica fue de 63,0 kg. Estos resultados están dentro de los rangos encontrados por Acosta y Santana (1999); así como Trujillo y Guanche (2010) en estudios realizados en Colombia y Tenerife, España para habichuela cosechada en legumbre.

Tabla 3.5 Componentes del rendimiento del cultivo de habichuela.

Parámetros	**Cantero 1**	**Cantero 2**	**Cantero 3**
Número de plantas/cantero, N_{PC}	64	62	65
Número de vainas/planta, N_{VP}	8	9	7
Peso de las vainas (g), P_{vaina}	5,0	4,0	3,0
Longitud de las vainas (cm), L_{vaina}	12,0	16,0	14,0
Número de granos por vainas, NG_{PV}	20,0	19,0	17,0
Rendimiento (kg/ha), *R*	1280,0	1116,0	682,5
Producción total (kg), *P*	2,6	2,2	1,4

Tabla 3.6 Estadígrafos de los componentes del rendimiento de la habichuela.

Estadígrafos	N_{PC}	N_{VP}	P_{vaina} (g)	L_{vaina} (cm)	NG_{pv}	*R* (kg/ha)	*P* (kg)
Media	64	8	4,0	14,0	19	1026,2	2,1
Error típico	0,9	0,6	0,6	1,2	0,9	178,2	0,4
Mediana	64,0	8,0	4,0	14,0	19,0	1116,0	2,2
Desviación estándar	1,5	1,0	1,0	2,0	1,5	308,7	0,6
Varianza de la muestra	2,3	1,0	1,0	4,0	2,3	95304,1	0,4
Rango	3,0	2,0	2,0	4,0	3,0	597,5	1,2
Mínimo	62,0	7,0	3,0	12,0	17,0	682,5	1,4
Máximo	65,0	9,0	5,0	16,0	20,0	1280,0	2,6

Figura 3.15 Cantidad y pesos de los granos por vaina.

3.6 Análisis de los indicadores de consumo de agua y energía

En la figura 3.16 se muestra el comportamiento del consumo de energía eléctrica durante el período en que se desarrolló la producción de habichuela en el organopónico Curva de Ortiz. Se observa que el mayor consumo se presentó en el mes de noviembre con 154 kW y el menor en el mes de diciembre con 83 kW. Este resultado está vinculado de manera directa con la cantidad de precipitaciones y el número de riegos realizados.

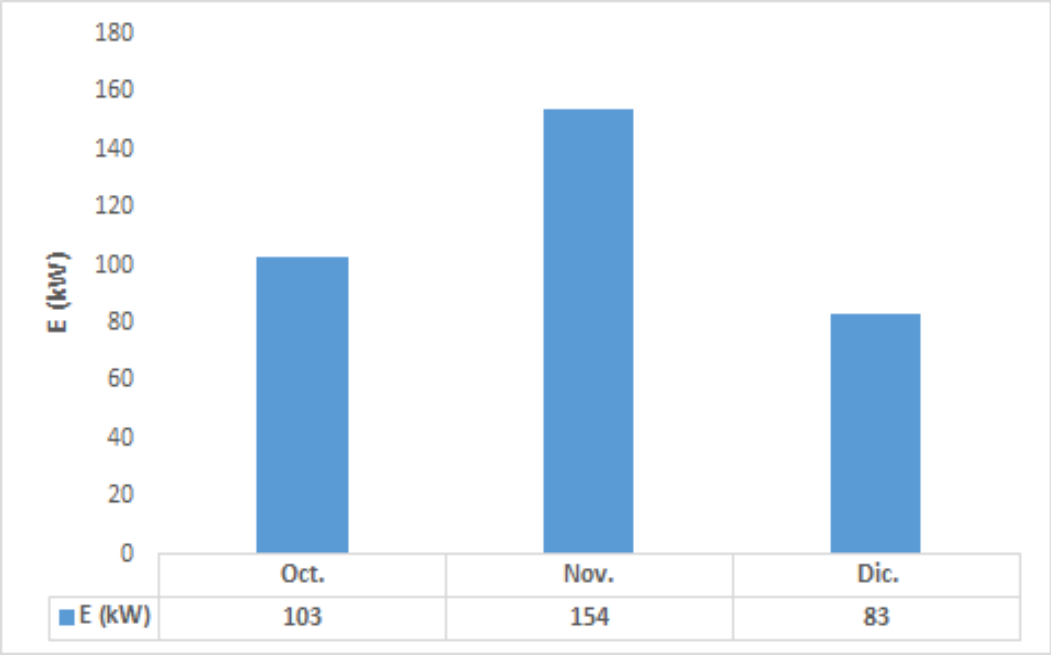

Figura 3.16 Consumo de energía eléctrica.

En la figura 3.17 se exponen los valores calculados de los tres indicadores evaluados en la investigación. Se comprobó que para un kilogramo de habichuela se requiere 0,52 m^3 de agua y 5,40 kW de energía eléctrica como lo expresan los indicadores CAP y CEP respectivamente; por su parte se necesitan 10,37 kW para el bombeo de un metro cúbico de agua con fines de riego. Todos estos indicadores fueron muy favorables porque el régimen de precipitaciones imperantes redujo notablemente el volumen de agua a suministrar mediante el riego y el consumo de energía eléctrica para el bombeo de agua.

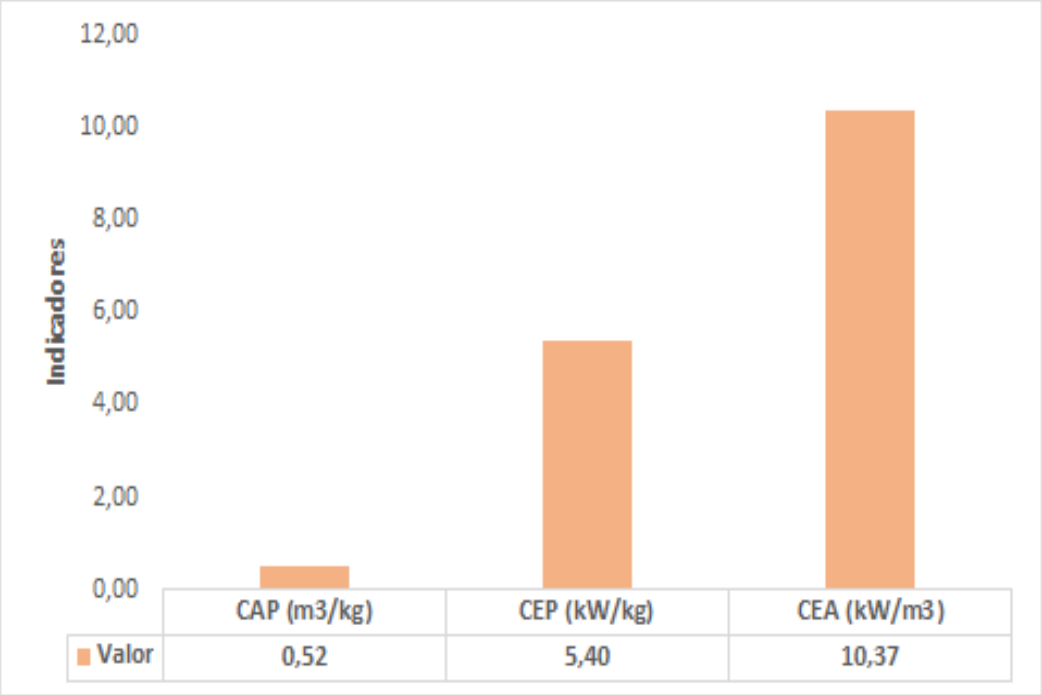

Figura 3.17 Indicadores de consumo de agua y energía eléctrica.

CONCLUSIONES

- Se demostró mediante el diagnostico tecnológico que las condiciones del organopónico son inadecuadas por problemas de fugas de agua y falta de mantenimiento en la red de tuberías.
- Las etapas vegetativas del cultivo: germinación, emergencia, primera hoja primaria, tercera hoja trifoliada y reproducción tuvieron una duración de 5, 4, 4, 4 y 34 días respectivamente. La cosecha se inició a los 59 días a partir de la siembra, cuando las vainas alcanzaron las condiciones para la recolección como legumbre.
- El aforo volumétrico del emisor determinó un caudal promedio de 0,30 m^3/h; lo que permite la aplicación de un volumen total de 2821,5 L en un tiempo promedio de riego de 20 minutos.
- Los aportes de agua por las precipitaciones diarias fueron de 30000 L durante todo el período de desarrollo del cultivo y contribuyeron al ahorro de agua subterránea y la reducción de consumo de energía para el bombeo.
- El rendimiento de la habichuela fue de 1026,2 kg/ha acorde con el rango informado para esta especie.
- Para producir un kilogramo de habichuela se requiere 0,52 m^3 de agua y 5,40 kW de energía eléctrica; para bombear un metro cúbico de agua para el riego de la habichuela se necesitan 10,37 kW de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

- Continuar el estudio de los indicadores de consumo de agua y energía para años hidrológicos normales; porque el período estudiado resultó atípico por la cantidad de precipitaciones ocurridas.
- Aplicar los indicadores evaluados para los restantes cultivos hortícolas que se producen en el organopónico.
- Resolver los problemas de salideros y mantenimiento que existen en el sistema de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACOSTA, E.Y; SANTAMARÍA, Y.L.: “Evaluación del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris L*.) utilizando fuentes orgánicas”, Universidad de Los Llanos Orientales, tesis presentada como requisito para optar al título de Licenciatura en Producción Agropecuaria, Colombia, 1999.

2. ARGUMEDO, J.A; GUARDIA, J.: “Respuesta de diez variedades de habichuela (Phaseolus vulgaris L.) a la inoculación con Rhizobium spp. y fertilización con nitrógeno”, Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado Académico de Licenciatura, Universidad de Zamorano, Honduras, 2011.

3. CADAVID, J. H. Hidráulica de canales: fundamentos. Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2006.

4. CHANSON, H. The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction. Oxford, Great Britain: Editorial Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

5. GALLEGO, J; CID, T.: “La reproducción fotográfica como fuente para la investigación histórico-artística”, Tratamiento digital de la imagen, Universidad de León, Primeras jornadas: imagen, cultura y tecnología, Universidad Carlos III, Editorial Archiviana, pp.131-142, ISBN: 84-95933-06-3, Getafe, España, 2002.

6. GARCÍA, S. E.: “El fríjol Caupí (*Vigna unguiculata, L. Walp*.)”, Curso deslocalizado, tipificación y regionalización de la provincia Holguín, pp. 55- 63, Holguín, Cuba, 1998.

7. GRIBBIN, J. E. (2016). Introducción a la hidráulica e hidrología con aplicaciones para la administración del agua. Ciudad de México: Cengage Learning Editores, 2016.

8. HUERRES, C; CARABALLO, N.: “Horticultura”, Editorial Pueblo y Educación, pp. 131, Ciudad de La Habana, Cuba, 1991.

9. MANAYAS, R; MONCIÓN, J.: “Evaluación comparativa de los rendimientos de siete variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris L*.) bajo condiciones de altas temperaturas, en la Herradura, Santiago, Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Católica Madre y Maestra, Santiago de los Caballeros, Republica Dominicana, 1984.

10. MINAGRI. 2007 Manual Técnico para Organopónicos y Huertos Intensivos. La Habana.184p., 2007.

11. MONCADA, D., JUÁREZ, I., GUTIÉRREZ, C., CASILLAS, J. D. J. Resultados de pruebas de un sistema de diagnóstico de medición por placa de orificio en laboratorio de flujo de CIATEQ, Ingeniería Petrolera, 54(1):7-26, 2014.

12. OLIVERA, M., BAHENA, G., ALPUCHE, O., GARCÍA, F. La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Revista Ambiente y Desarrollo, 18(35): 23-36, 2014.

13. OVIEDO, F.: “Efecto del fotoperíodo sobre la reacción a *Xanthomonas campestris, pv phaseoli*, en cinco genotipos de Habichuelas (*Phaseolus vulgaris L*.), Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, Santo Domingo, República Dominicana, 1986.

14. PÉREZ, R., JIMÉNEZ, E., MONTERO, L., SARMIENTO, O., Y GUZMÁN, J. Resultados de diferentes alternativas de manejo del riego superficial tecnificado en el cultivo de la papaya Maradol Roja plantada con marco extradenso. Revista Ingeniería Agrícola, 3(1): 8-16, 2013.

15. ROLDAN, J., Y MORENO, M. F. La ingeniería y la gestión del agua de riego en Al- Andalus, Ingeniería del Agua, 14(3):223-236, 2007.

16. SALADÍN, F. Cultivo de habichuela, Santo Domingo, Fundación de Desarrollo Agropecuario, Boletín Técnico No.2, 2ª. Ed. ,1995, Disponible en: http://www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download

17. SALAS, O; BROWN, O.: “Indicadores para la evaluación del consumo de agua y energía en el organopónico Curva de Ortiz en la provincia Ciego de Ávila”, Conferencia Internacional Universidad 2012, Ciego de Ávila Cuba, 2012.

18. SALICETI, M. 2005. Evaluación de dos poblaciones de habichuelas (*Phaseolus vulgaris L*.) para ser utilizadas en el modelo de simulación CROPGRO. Puerto Rico. [Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de Maestro en ciencias en Agronomía]. Universidad de Puerto Rico, 2005.

19. SÁNCHEZ, A., GARCÍA, P., Y PLAYÁN, E. Modelo de simulación de riego por surcos inundados. Ingeniería del Agua. 9(3): 333-346, 2002.

20. SANDOVAL, L.M.: “Modelos matemáticos para la estimación de caudales con vertederos de pared delgada y orificios utilizados en sistemas de riego”, Tesis Doctoral, Unica, CEH, Ciego de Ávila Cuba, 2016.

21. SANTOS, L., DE JUAN, J. A., PICORNELL, M. R., TARJUELO, J. M. Albacete, España. Editora Europa- América en Lisboa, 2010.

22. TARJUELO, J. M. El riego por aspersión y su tecnología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 2005.

23. TRUJILLO, L; GUANCHE, A.: “Ensayo de habichuela de mata alta”, Información Técnica, Servicio Técnico de Agricultura y desarrollo Rural, Cabildo de Tenerife, Islas Canarias, España, 2010.

24. VALLEJO, F; ESTRADA, E.: “Producción de hortalizas de clima cálido”, Universidad Nacional de Colombia, 345 p., Cali, Colombia, 2004.