

República de Cuba.

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL.



Título: Efectividad productiva y económica de tres sistemas de riego en retoños de la UEB:
Atención al Productor Antonio Sánchez.

POR:

AUTOR: Elme Pérez Rodríguez.

TUTORES: M.sc. Freddys Ramírez González.

Año 2014

Síntesis.

La investigación se desarrolló en condiciones de producción en la UEB de Atención al Productor Antonio Sánchez, durante la campaña 2013- 2014 en retoños con el tercer corte y 13 meses de ciclo. Variedad C86-12. En los sistemas: fertirriego localizado por goteo Manuela de la UBPC Chapeo, máquina de pivote central Coco Solo de la UBPC Desquite y el de riego por aspersión con enrolladores La Frontal de la UBPC Victoria. Se usó como testigo áreas de retoños en secano seleccionados con características similares a la de los sistemas. Sobre suelo ferralítico rojo, típico, a los datos de los indicadores y componentes evaluadas se le aplicó análisis de varianza simple (ANOVA) con prueba de Duncan para $P<0.05$. Los resultados indican que las condiciones de explotación de los tres sistemas de riego se caracterizan por: lluvias aprovechables por encima de los requerimientos hídricos en los meses de mayo a septiembre, con déficit hídrico en 10 de los 13 meses del ciclo; donde la máquina de pivote central tiene los menores valores de este indicador y en el sistema de fertirriego localizado por goteo, se satisface mejor los requerimiento hídricos del cultivo, donde este último resulta ser el más efectivo desde el punto de vista económico y productivo tanto en la producción de caña como de azúcar.

Acápite	Tabla de contenidos	Páginas
	Introducción.	1
	Antecedentes.	1

	Justificación del estudio.	1
	Problema de investigación.	2
	Hipótesis de investigación.	2
	Objetivo General.	3
	Objetivos específicos.	3
I.	Revisión bibliográfica.	4
I.1	Valoración del contexto local, nacional y mundial.	4
I.2	Estado actual del conocimiento del problema de investigación.	12
I.3	Carencia que se quiere llenar con la investigación.	19
II	Materiales y métodos.	21
II.1	Caracterización de las condiciones de explotación de los sistemas de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.	24
II.2	Comparación de la efectividad productiva de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez	25
II.3	Comparación de la efectividad económica de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez	26
III	Resultados y discusión.	27
III.1	Caracterización de las condiciones de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez	27
III.2	Comparación de la efectividad productiva de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez	39
III.3	Comparación de la efectividad económica de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez	43
IV	Conclusiones.	46
V	Recomendaciones.	47
	Bibliografía.	48

Introducción

En la recuperación de los rendimientos agrícolas cañero, el regadío ocupa un papel importante, si se tiene en cuenta que en nuestro país se benefician con el mismo 387 049 ha de caña, de ellos 185 852 ha son regadas por gravedad y 201197 ha (52%) por sistemas de aspersión y goteo con tecnología de punta, MINAZ, (2000), además es reconocido el papel de la agricultura de regadío; a tal efecto, Sagardoy, (1998) indica que el 33% de la producción agrícola mundial, se logra en el área irrigada que es solo el 18% de las tierras cultivadas.

Por ello, para garantizar el riego del principal cultivo económico del país, el estado ha invertido más de 1 436 millones de pesos en obras de infraestructura y sistemas de riego, incluidos 12 735,3 km de canales de diferente orden, 24 164 obras de fábrica de diversos tipos, 84 presas y 173 micro presas. Pérez, (2004).

Dentro del marco de un proceso de renovación de nuestra agricultura cañera, donde las acciones conducen a la misma, hacia una agricultura más sostenible, es indudable que el regadío tiene desafíos que superar, por ser una actividad costosa y con dificultades, que debe encaminarse al uso del agua con más eficiencia, minimizando la erosión, el drenaje deficiente y la salinización. Dueñas, (2004).

La explotación eficiente de los sistemas de riego permite garantizar dos aspectos fundamentales: la conservación y sostenibilidad de las áreas agrícolas donde se aplican riegos a los cultivos y el ahorro de agua, otros recursos humanos y materiales. Meneses *et al.*, (2010).

La evapotranspiración de la caña de azúcar varía con el tipo de cepa, la edad y el inicio del ciclo vegetativo, variables dependientes en general del desarrollo de la plantación; en dependencia de estas condiciones la caña es capaz de consumir entre 1,7 y 8 milímetros de agua por día (Fig. 1), aunque en ocasiones puede alcanzar consumos mayores. El balance hídrico tiene que tener muy en cuenta este parámetro, pues a partir del mismo se definen las necesidades de agua del cultivo y se confecciona el régimen de riego en concordancia con los efectos del clima y las propiedades de los suelos. Traba *et al.*, (2012).

Estudios realizados arrojaron que el balance hídrico de la caña para diferentes épocas y ciclos de corte, arrojando este consumo de agua entre 1578 y 2571 milímetros de agua por campaña también entre las cepas y ciclos varía el aprovechamiento de la lluvia y el déficit hídrico que se requiere reponer con las aplicaciones periódicas de riego. La caña de azúcar se debe plantar en áreas con regadío teniendo en cuenta el momento de la siembra y la longitud del ciclo vegetativo para poder alcanzar rendimientos adecuados, este cultivo en dependencia de dichas cuestiones puede aportar en una cosecha entre 125 y 180 tm de caña por hectárea si se conjuga el manejo de la cepa con la edad adecuada de cosecha. Gálvez, (2010).

Para lograr una buena explotación de las máquinas de riego que se están instalando en la agricultura cañera del país se deben aplicar entre 30 y 39 riegos en una campaña, de forma tal que posibilite un mayor aprovechamiento del agua aportada por las precipitaciones y que el riego con las máquinas sea el completamiento de las mismas para satisfacer el consumo de agua por parte de la caña de azúcar. Traba *et al.*, (2012).

En la Unidad Empresarial de Base (UEB) Atención al Productor Antonio Sánchez se han instalados tres tipos de sistemas de riegos: con máquina de pivote central, de fertirriego localizado por goteo y por aspersión con enrolladores para suplir las necesidades hídricas de la caña, donde ya las áreas están cubiertas por retoños de tres cortes. Sin embargo se desconoce la efectividad productiva y económica de estos sistemas. Sobre la base de esta problemática planteamos el siguiente problema científico:

Problema de investigación

¿Qué efectividad productiva y económica tendrán los sistemas de riego: máquina de pivote central, fertirriego localizado por goteo y aspersión con enrolladores instalados, en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez?

Hipótesis

La comparación de los componentes productivos y económicos de los sistemas de riego: máquina de pivote central, fertirriego localizado por goteo y aspersión con enrolladores, permite determinar la efectividad productiva y económica de estos sistemas de riego.

Objetivo general

Evaluar la efectividad productiva y económica de los tres sistemas de riego, instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.

Objetivos específicos

1. Caracterizar las condiciones de explotación de los sistemas de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.
2. Determinar la efectividad productiva y económica de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.
3. Comparar la efectividad productiva y económica de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.

I. Revisión bibliográfica

I.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial

Requerimientos de agua en el desarrollo de la caña

Reinoso, (1862) consideró que la caña responde mejor a los requerimientos de humedad que a la fertilización. Dillewijn, (1951) coincide que aún sin aplicar fertilizantes el número de tallos. ha^{-1} y la elongación de estos aumenta con la aplicación de agua, por lo que el crecimiento de la caña está regido principalmente por la cantidad y distribución de las precipitaciones. Cabrera y Hernández, (2009).

Clements y Kubota, (2004) encontraron una alta correlación entre las lluvias y la elongación del tallo, así como entre la humedad del suelo y la elongación de la caña. La influencia de la humedad sobre la elongación de la caña es doble: elimina la diferencia entre el crecimiento de día y de noche y altera la forma del gran periodo de crecimiento. Dillewijn, (1951).

Wadsworth, (1934), citado por Dillewijn, (1951) sugiere que al contrario de lo que se conoce de la mayoría de las plantas, la caña puede contar con una asombrosa capacidad de absorción de humedad por sus partes aéreas así como conducir esta humedad a las raíces y descargarla en el suelo por medio de estas, aunque la mayor parte de la humedad es absorbida por las raíces.

Se dice que el nivel de la fotosíntesis depende menos del contenido de humedad pues se ha demostrado que cuando una planta está por debajo del punto de marchites continúa produciendo azúcar aunque en menor cantidad que en condiciones óptimas de humedad. Torres *et al.*, (1984) también explican que la actividad fisiológica de las plantas está determinada en gran medida por el balance de agua almacenada en el suelo, la contenida en la planta y la pérdida por evapotranspiración. Cabrera y Hernández, (2009).

La planta de caña consume entre 250 y 300 Kg. de agua por cada Kg. de materia seca que produce por lo que este elemento es limitante en el crecimiento y sus funciones fisiológicas en general, tales como, la fotosíntesis, la respiración, absorción de nutrientes, circulación de sustancias elaboradas e hidrólisis de macromoléculas, concluyen Torres *et al.* (1984).

Lima *et al.* (2004) plantean que el desequilibrio hídrico perjudica los sistemas de producción vegetal. En la caña se produce temporalmente este fenómeno afines de octubre y finales de mayo, en la mayor parte del territorio cubano, explica finalmente el autor.

King, (1968) indica que la necesidad de agua para una cosecha de 100 t. ha⁻¹ sería de 1250-1500 mm y que para mantener el crecimiento máximo del cultivo nunca debe permitirse que la humedad del suelo se aproxime, en la zona de la raíz, al punto de marchitamiento. Si se produce el frenado del crecimiento debido a la falta de humedad siempre transcurre algún tiempo, después de restablecida esta, antes de reanudarse el mismo. King, (1968).

González, (1976) expresa que la correlación entre la precipitación pluvial en la zona que no tiene riego y el crecimiento, es un factor determinante de la producción. Una precipitación anual de 1500 a 1700 mm es suficiente para la caña y debe garantizar entre el 85 y el 90 por ciento de la capacidad de retención de humedad del suelo.

Según Viqueira *et al.* (1983) cuando hay falta de humedad ocurren: cambios en el metabolismo de la planta, decrece la asimilación de CO₂, la capacidad de síntesis disminuye, baja el contenido de ácido Ribonucleico (ARN) y las enzimas como la nitrato reductasa disminuye su actividad. También disminuye la estabilidad del complejo lípido- proteína-clorofila de los cloroplastos y se inhibe la síntesis de proteínas, de clorofila A y B, concluye el autor.

Naidu *et al.* (1983), Estudiaron el papel de los estomas en el mantenimiento de balance hídrico en la caña de azúcar llegando a la conclusión que su papel es muy importante sobre todo en variedades donde la resistencia de los estomas a la difusión del vapor de agua hacia el exterior de la planta es mayor, y que ese puede ser un indicador de selección de variedades resistentes a la sequía. Pinna *et al.* (1983) menciona un grupo de autores que llegan a la conclusión que existe una estrecha relación entre la producción de caña y el agua usada o evapotranspirada y que la caña produce 0.009 Kg.m³ de agua⁻¹ y 0.6-1.0 Kg de sacarosa⁻¹.m³ de agua.

Pacheco *et al.* (2006) dan una relación de autores de Cuba, Puerto Rico y Argentina que definen en distintas regiones la pérdida de humedad de la caña por evapotranspiración:

Autor	Año	Lugar	Evapotranspiración (m ³ .ha ⁻¹ .año ⁻¹)
Matev	1968	Matanzas	16000-18000
Vázquez	1970	Puerto Rico	14200-16500
Ruiz	1972	Matanzas	12720-17700
Lunev y Glez.	1973	Habana	17640
Foligata	1974	Argentina	19360

Acción interrelacionada de las principales variables climáticas sobre la caña.

Para entender la relación e interdependencia entre los factores del clima al actuar sobre los cultivos y dentro de ellos la caña de azúcar podemos partir del enunciamiento por parte de Liebig (1840), citado por Torres *et al.*, (1984) de las leyes del mínimo y del máximo pues para cada factor existe un rango donde se establece un mínimo y un máximo en que su acción es favorable para las plantas tanto directa como indirectamente, Torres *et al.*, (1984). Allee y Park (1939), citado por Dillewijn, (1951), introducen el término holocenótico para expresar las relaciones dinámicas entre los factores ambientales.

La energía radiante del sol y la temperatura prevaleciente en el área, proveen de energía a la planta. Es el agua la que hace posible que la planta se apropie de este nivel de energía. El suelo satisface a la planta de anclaje, agua común y los nutrientes que necesita. De esta manera la planta misma puede integrar todos los factores y los va obteniendo poco a poco mientras crece. Srinivasan, (1983).

Pinna *et al.* (1983) plantean que muchos autores coinciden en aseverar que el rendimiento de la caña tiene una alta dependencia de los factores climáticos interrelacionados entre sí y de las condiciones del suelo.

Pacheco *et al.* (2006) estudiaron la interrelación de la evapotranspiración con los factores climáticos: temperatura, humedad y luz. Dillewijn (1951) en este sentido refiere que existe correlación alta y positiva entre estos tres factores y la evapotranspiración de la caña hasta un límite previamente establecido.

También la Luz, temperatura y la humedad se correlacionan positiva y significativamente con algunos procesos fisiológicos como el crecimiento y la absorción de nutrientes. Dillewijn, (1951).

El periodo de crecimiento y el ambiente en la caña de azúcar

El periodo de crecimiento en la caña de azúcar es la época agroclimática óptima para el crecimiento de las plantas. En Cuba, por ser un país tropical, la lluvia es el factor determinante en la ubicación y duración de este periodo, debido a esto se enmarca en la época lluviosa comprendida en los meses de mayo a septiembre, PMA e IPF, (2004) y Sáens, (2004). La lluvia se vuelve cada vez más un factor limitante para el desarrollo de la caña que en Cuba se establece en secano en la mayoría de las áreas, su distribución en el transcurso del año es desigual, alternándose períodos secos y lluviosos y su variación interanual es sumamente alta por el contrario la luz y la temperatura varían muy poco y rara vez limitan la producción. Sáens, (2004).

Existe una metodología propuesta por Herrera (2001), citado por Sáens, (2004) que clasifica la amplitud del período de crecimiento en Buena (120 días), Regular (80-119 días) y Mala (80 o menos días) que permite evaluar a partir de un criterio hídrico la restricción del rendimiento a partir de la amplitud del periodo de crecimiento, el cual puede ser, por tanto, un indicador del potencial productivo de las zonas cañeras al coincidir con la época que determina el rendimiento de la caña. Por otra parte, Sáens (2004), explica que el crecimiento tanto en caña planta como en los retoños en los meses de enero hasta abril es lento como resultado de las condiciones climáticas (bajas precipitaciones y temperaturas), no es prácticamente hasta junio en que las lluvias marcan un cambio sustancial en el período de crecimiento.

La duración del período de crecimiento, según el autor, se reduce en condiciones climáticas adversas de 120 a 80 días de duración y esto repercutirá indudablemente en el rendimiento. En los últimos años se ha producido una expansión acelerada de las más modernas técnicas de riego en la agricultura, dada por la necesidad de incrementar la eficiencia en el manejo del agua e intensificar los procesos productivos. Una de estas novedades lo constituye el riego por goteo subterráneo, tecnología de avanzada que ha sido generalizada con éxito en los países desarrollados productores de caña de azúcar. García y Pérez, (2004).

Pérez y *et al.* (2005), señalaron que en caña planta solo ocurre respuesta en los suelos negros, con dosis entre 175 y 250 kg/ha, incrementando el rendimiento agrícola entre un 9 y 10 por ciento, aunque no en azúcar. Por lo tanto dichos autores recomiendan en caña planta

no aplicar nitrógeno. Con anterioridad ya habían recomendado no fertilizar en caña planta: Alomá (2005), Pérez y Cutiño (2007) y Pérez y Villegas (1979).

Pardo y Lines (1979), señalaron que aunque no encontraron diferencias en rendimiento en caña con el fraccionamiento, si la obtuvieron en azúcar, cuando añadieron un 20 por ciento en siembra y un 80 por ciento después de producirse la germinación de la caña.

En Cuba existen experiencias con el fertirriego en los cultivos de los cítricos y la papa, con sistemas de riego localizado y de pivotes respectivamente, con fraccionamiento del nitrógeno por fases de desarrollo. Saavedra, (2006 y 2007).

Los tanques de fertilización o “abonadoras” son depósitos cerrados, metálicos o fabricados a base de fibra. Están unidos a la red principal de riego mediante dos mangueras flexibles con sendas llaves de paso y, a veces, manómetros. Durante la incorporación del abono al tanque, se mantienen cerradas las dos llaves que lo comunican con la red de riego, para impedir el paso del agua a través de éste. Posteriormente se abren las dos llaves de paso y se deja entreabierta la llave situada en la red de riego entre las dos válvulas anteriores para regular la diferencia de presión que obliga al agua a pasar por la “abonadora”, arrastrando los fertilizantes hacia la red. Martínez, (2001).

Los sistemas en los que se emplea la inyección generalmente están constituidos por un depósito abierto, donde se prepara la solución de fertilizantes, desde donde se inyecta a la red de riego a una presión superior, mediante una bomba inyectora de pistón o membrana, que puede ser hidráulica o estar accionada por un motor eléctrico o de combustión. Es recomendable la colocación de agitadores, normalmente de inyección de aire (burbujas) o de hélice, para mantener homogénea la disolución y evitar precipitaciones. La inyección de fertilizantes se realiza de forma más constante que en el caso de las abonadoras a lo largo del tiempo de riego. Torralba, (2006).

Las formas de nitrógeno más comunes en los fertilizantes líquidos son la nítrica, amoniacal y la ureica. Otras formas de nitrógeno como amínicas, amídicas y orgánicas en general, pueden ser consideradas también en algunas formulaciones para requerimientos y aplicaciones especiales donde se precise, por ejemplo, el aporte de determinados estimulantes vegetales como los aminoácidos, de compuestos químicos que, por sus

características, se encuadren en la categoría de fertilizantes de lenta liberación. No obstante las formas nitrogenadas más comunes son las antes mencionadas. Las formas iónicas habituales en las que se presenta el fósforo en los fertilizantes líquidos son fosfato y polifosfato. Mientras que en los fertilizantes líquidos de naturaleza ácida la forma habitual en la que se presenta este elemento como fosfato, en el caso de fertilizantes neutros éste puede presentarse, según los requerimientos, en forma de fosfato o de polifosfato. Anónimo, (2005).

Uner (2007), sugiere que los fertilizantes líquidos nitrogenados (urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio), fosforados (ácido fosfórico y fosfato monoamónico) y potásico (cloruro de potasio, sulfato de potasio y nitrato de potasio), para la caña de azúcar.

Para la aplicación de los fertilizantes líquidos se necesitan saber los requerimientos nutricionales diarios, el tipo de raíz de los cultivos, la solubilidad del fertilizante, la movilidad, el pH del agua de riego, sus sales disueltas y su toxicidad. Uner, (2007).

Ruskin (2002), plantea que si se demuestra la respuesta de la caña de azúcar en condiciones de riego a dosis superiores a las que se recomiendan sin tener en cuenta la interacción de los fertilizantes y el agua en su rendimiento agrícola potencial, se podrán hacer estimaciones para condiciones similares a las estudiadas que se podrán incluir en los algoritmos de nuevas recomendaciones.

El riego y la fertilización

En los últimos años se ha producido una expansión acelerada de las más modernas técnicas de riego en la agricultura, dada por la necesidad de incrementar la eficiencia en el manejo del agua e intensificar los procesos productivos. Una de estas novedades lo constituye el riego por goteo subterráneo, tecnología de avanzada que ha sido generalizada con éxito en los países desarrollados productores de caña de azúcar. INICA (2004).

Según NETAFIM (1996), por fertirrigación, entiéndase como el suministro del fertilizante utilizando el agua de riego, difiere de la aplicación de fertilizantes tradicional lo que se puede inferir de sus propias ventajas:

Los nutrientes se pueden aplicar en la base del cultivo según sus necesidades Figura 1.

- La cantidad de agua aplicada puede controlar la proporción de nutrientes en cada momento y la disponibilidad para el consumo de la planta.
- La aplicación de nutrientes es uniforme con un buen sistema de distribución.
- Elimina algunas operaciones de laboreo de la tierra.
- Reduce los costos de aplicación.
- Genera menos contaminación del agua subterránea a través de un uso reducido de fertilizante.
- Minimiza el daño del cultivo durante la aplicación.



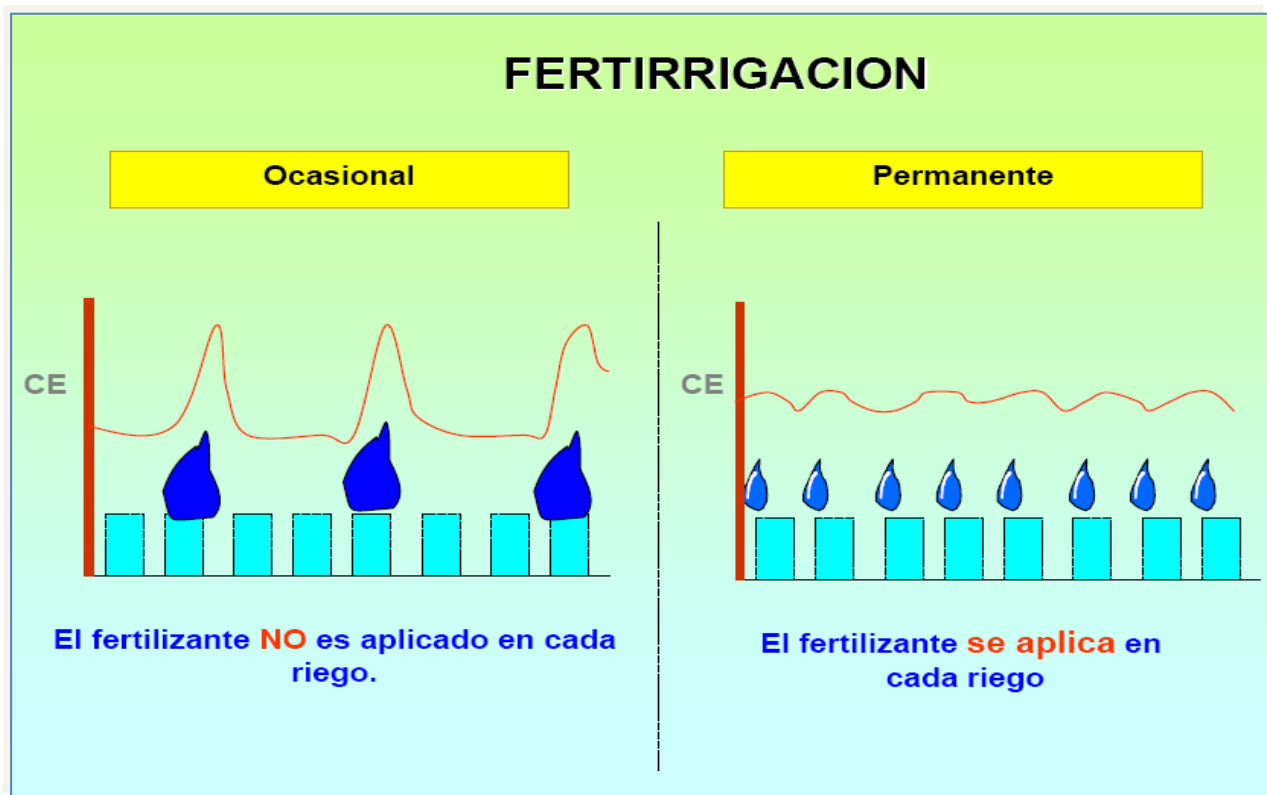
Figura 1: Distribución del agua y el fertilizante cuando se efectúa la fertirrigación del cultivo.

Los fundamentos que garantizan su efectividad se basan en que:

- El agua se aplica para satisfacer la demanda diaria del cultivo y no para crear una reserva de agua en el suelo, así se eliminan situaciones extremas de exceso y falta de agua, comunes en el riego tradicional.
- El agua es el principal medio de transporte de sustancias fuera y dentro de la planta.
- Según el estado vegetativo de la planta sus exigencias son diferentes, y debe contemplar las necesidades anuales o del ciclo vegetativo.

- Es necesario realizar análisis foliares periódicamente, para ir introduciendo las correcciones en el programa .
- Es importante los análisis tanto de agua como de suelo para controlar la salinidad.
- En cada riego hay que incorporar fertilizantes, para equilibrar la dosis hídrica , restituir lo consumido y controlar la salinidad. Figura 2.

Figura 2: Comportamiento de los niveles de salinidad expresados por la CE de acuerdo a la periodicidad de la aplicación del fertilizante.



Singh *et al.* (1971), reportó que la interacción riego y nitrógeno mejoró el tonelaje de caña, la producción de azúcar y el por ciento de azúcar en caña. Este aumento solo fue significativo al nivel de 150 Kg. ha⁻¹.

Shaw e Innes, (1965), encontraron que la respuesta al nitrógeno aumentó con la frecuencia del riego y exponen como la aplicación de nitrógeno duplicó la respuesta al riego con relación a la no aplicación del mismo.

Fogliata (1971), señaló que un incremento en el volumen de agua trae aparejado un mayor consumo de nitrógeno y una mayor producción agrícola.

Llerena y Cuellar, (2006), señalaron que a pesar de no haberse encontrado una interacción significativa entre el riego y la aplicación de nitrógeno, se observó una tendencia a manifestarse la misma en el tonelaje de caña y azúcar por hectárea.

Fonseca y Lamelas, (2007), en las condiciones de los suelos ferralíticos rojos, señalaron que el efecto combinado del riego y la fertilización produjeron incrementos en los rendimientos agrícolas entre un 50 y 60 por ciento con relación al secano sin fertilizantes, lo que prueba que la obtención de altos rendimientos está unida al riego eficiente con buenos niveles de fertilización. Trabajos realizados por Fonseca, (2007) en suelos de arcilla negra pesada, demuestran que el riego eficiente y la fertilización produjeron incrementos de rendimientos entre 69 y 185 por ciento con respecto al secano, en caña planta y retoño respectivamente, partiendo también de la aplicación de nitrógeno en caña planta. Similares resultados en caña planta fueron obtenidos por Fonseca *et al.* (2004), Fonseca, (2008) en suelos ferralíticos rojos, Lamelas *et al* (2004) en suelos ferralíticos rojos, Méndez *et al.* (1986) en suelos ferralíticos rojos y Lamelas *et al* (2004), en suelos pardos con carbonato.

I.2 Estado actual del conocimiento del problema de investigación

La evapotranspiración de la caña de azúcar varía con el tipo de cepa, la edad y el inicio del ciclo vegetativo, variables dependientes en general del desarrollo de la plantación; en dependencia de estas condiciones la caña es capaz de consumir entre 1,7 y 8 milímetros de agua por día, aunque en ocasiones puede alcanzar consumos mayores. El balance hídrico tiene que tener muy en cuenta este parámetro, pues a partir del mismo se definen las necesidades de agua del cultivo y se confecciona el régimen de riego en concordancia con los efectos del clima y las propiedades de los suelos. Traba *et al.*, (2012).

Estudios realizados arrojaron que el balance hídrico de la caña para diferentes épocas y ciclos de corte, arrojando este consumo de agua entre 1578 y 2571 milímetros de agua por campaña también entre las cepas y ciclos varía el aprovechamiento de la lluvia y el déficit hídrico que se requiere reponer con las aplicaciones periódicas de riego. La caña de azúcar se debe plantar en áreas con regadío teniendo en cuenta el momento de la siembra y la

longitud del ciclo vegetativo para poder alcanzar rendimientos adecuados, este cultivo en dependencia de dichas cuestiones puede aportar en una cosecha entre 125 y 180 tm de caña por hectárea si se conjuga el manejo de la cepa con la edad adecuada de cosecha. Gálvez, (2010).

Para lograr una buena explotación de las máquinas de riego que se están instalando en la agricultura cañera del país se deben aplicar entre 30 y 39 riegos en una campaña, de forma tal que posibilite un mayor aprovechamiento del agua aportada por las precipitaciones y que el riego con las máquinas sea el completamiento de las mismas para satisfacer el consumo de agua por parte de la caña de azúcar. Traba *et al.*, (2012).

Según, Ruiz *et al.* (2004 y 2006) las cañas de frío salvan los centrales exposición hecha por Reynoso en 1962 y si estas, constan de equipos para el riego es mejor; por lo que no debe comenzarse a explotar una máquina de riego si no se tiene como premisa comenzar la siembra en septiembre. Estas plantaciones reportan consumos totales de agua de 687 mm durante su ciclo vegetativo, los cuales se deben distribuir mediante la ejecución de 41 riegos con el pivote central (Agrocaja), como complemento del agua aportada por las precipitaciones. Wagner *et al.* (1986) agrega que también estas máquinas ofrecen la posibilidad en este programa de explotarse en horas nocturnas, pues en la mayoría de los meses se satisfacen las necesidades hídricas de la caña regando entre 8 y 12 horas diarias, ya que solamente en los meses de Marzo y Abril se necesita regar durante las 24 horas del día. En plantaciones de frío las máquinas deben trabajar a velocidad entre el 20 y 40 % para aplicar la lámina de riego prevista, Meneses *et al.*, (2010).

Las variables para la explotación de las máquinas de riego Agrocaja en diferentes retoños de caña de azúcar se exponen en las tablas 5 a la 8 teniendo en cuenta para la confección de las mismas los conceptos y análisis expuestos anteriormente. Las mismas son de mucha utilidad para los productores en cuyas tierras se montan estas máquinas, pues constituyen una herramienta vital para el desarrollo del trabajo diario de riego. En ellas se exponen las fechas y normas de riego para cada mes del ciclo vegetativo, Traba *et al.*, (2012).

El programa para la explotación de las Maquinas de riego Agrocaja que recientemente se están instalando en el país es de mucha utilidad para los productores cañeros. Es posible regar la caña en el momento oportuno y con la norma necesaria para que esta se desarrolle con vigor y lozanía y sea capaz de aportar su potencial, agro-productivo. Se puede hacer un

mayor uso del horario nocturno para el riego momento en que la favorecen la baja velocidad del viento y el horario fuera del pico eléctrico. Gálvez, (2010).

Riego por aspersión

Considera el riego mediante el empleo de máquinas diseñadas para ese fin. De acuerdo a su forma de desplazamiento estas máquinas pueden clasificarse en: Circulares y Frontales. Traba *et al.*, (2012).

La máquina de riego Fregat producida en Rusia es de acción circular tracción hidráulica, para lo cual utiliza el agua bombeada desde la fuente de abasto. La máquina en sí está formada por una estructura central o "pivote" alrededor de la cual gira otra estructura o "ala" de la que forma parte la tubería conductora del agua. Esta estructura se encuentra apoyada en torres móviles situadas a lo largo de la máquina, teniendo cada una un cilindro hidráulico encargado del movimiento de la misma. Esta máquina se mueve en un solo sentido, el de las manecillas del reloj. Cabrera y Hernández, (2009)

Esta es una máquina de acción circular y tracción eléctrica. Está formada por una estructura central y fija alrededor de la cual gira o pivotea una estructura metálica de la que forma parte la tubería conductora de agua. Esta estructura se encuentra apoyada en torres móviles cada una de las cuales tiene un pequeño motor eléctrico para su movimiento. La máquina puede girar en ambos sentidos. Traba *et al.*, (2012).

Aspersor viajero

El aspersor viajero conocido también como máquina de cinta, es un equipo de riego compuesto por carrete o tambor sobre el cual está enrollada una manguera o tubería plástica flexible en cuyo extremo se encuentra instalado un carro o trineo con un aspersor sectorizado. La tubería se va enrollando automáticamente sobre el tambor en virtud del movimiento que a éste le comunica un mecanismo accionado por un pistón hidráulico. A medida que la tubería se enrolla va deslizándose el aspersor hasta que él mismo llega junto al tambor y por medio de un dispositivo se cierra la alimentación de agua y se detiene el funcionamiento del equipo. Este equipo trabaja utilizando el agua a presión de una tubería soterrada en un sistema semiestacionario o de una maestra (móvil o fija), de una motobomba o de una estación de bombeo. El traslado del equipo de una posición a otra se realiza con un tractor u otro medio de tracción. Traba *et al.*, (2012).

Definiciones básicas del proceso industrial de azúcar, Según Huggot, (1967) y Santibáñez, (1983)

Brix: Es la suma de todos los sólidos disueltos (azúcar y no azúcar) expresada como % en peso. Es aplicable al jugo y cualquier otra disolución que contenga azúcar. Ejemplo si en 100 partes en peso de jugo están contenidas 12 partes de sólidos disueltos y el resto (88) son de agua, ese jugo contiene 12 % de sólidos solubles, o sea, 12 grados Brix.

Para medir este valor se utiliza un hidrómetro o areómetro, concebido por el químico austriaco Brix; su escala indica o coincide con el % de sacarosa en disoluciones totalmente puras. En todo material azucarero (jugo, mieles, etc.) el grado Brix es siempre mayor que el valor de Pol.

Mientras que en materiales de elevada pureza como los licores de una refinería la diferencia entre estos indicadores es despreciable.

Pol: Es la sacarosa contenida en una disolución, expresada como % en peso, determinado analíticamente con un polarímetro o sacarímetro.

En disoluciones puras % Pol equivale exactamente a % de sacarosa, mientras que en otras impuras como el jugo de caña y las mieles, que contienen otras sustancias óptimamente activas, existe una diferencia entre estos dos valores, diferencia que será mayor, cuanto más impura sea la disolución. Por esta razón el valor de Pol es aceptado internacionalmente como sacarosa aparente.

Pureza: Es la cantidad de sacarosa contenida en 100 partes de sólidos totales, expresada en tanto por ciento.

En la práctica, la pureza aparente se calcula con los valores de Pol y de Brix, mediante la expresión siguiente:

$$\text{Pureza} = \text{Pol} / \text{Brix} * 100$$

La pureza da la medida de la cantidad o proporción de impurezas disueltas en el jugo, que será necesario eliminar en procesos posteriores, de ahí su interés. Ejemplo en un jugo con 80 % de pureza habrá un 20 % de impurezas.

No-Azucares: Son todas las sustancias que no son sacarosa y que forman parte del jugo de caña como sólidos disueltos. En este término se incluyen otros azúcares (azúcares reductores). La presencia de estas es indeseable para el proceso de fabricación de azúcar, por lo que será necesario eliminarlas durante los diferentes procesos tecnológicos, a los que

serán sometidos la materia prima y materiales intermedios. En la práctica, no azúcares es simplemente la diferencia entre Brix y Pol:

No-azúcar = Brix – Pol

Caña: Es la materia prima normalmente suministrada a la fábrica y que comprende la caña propiamente dicha, la paja, el agua y otras materias extrañas:

Paja: Es la materia seca, insoluble en agua, de la caña

Jugo Absoluto: Son todas las materias disueltas en la caña, más el agua total de la caña.

Bagazo: Es el residuo después de la extracción del jugo de la caña por cualquier medio, molino o presa.

Jugo Residual: Es la fracción de jugo que no ha podido ser extraída y que queda en el bagazo.

Recobrado: Es 87% un indicador esencial de eficiencia de conjunto con el rendimiento industrial, donde se establece un valor porcentual de la cantidad de azúcar que se recupera del total que entra en la caña. Para medir el recobrado se tienen implícitas las pérdidas en el proceso fabril donde parte del azúcar contenida en la caña se pierde en los productos finales como el bagazo, la cachaza y la miel final; así como por pérdidas indeterminadas por salideros, derrames entre otros.

Materias extrañas: % de impurezas que entran al central con la caña limpia. Se consideran impurezas: la paja seca, hojas verdes, renuevos, raíces, tierra, malezas, ente otras. Estas incrementan el peso de la caña y no producen azúcar lo cual deteriora considerablemente los indicadores de eficiencia de la fábrica (recobrado y rendimiento industrial).

Gálvez (2010) explica que la industria azucarera a partir de la caña de azúcar ha evolucionado en sus rendimientos mayormente a partir de la década 1950-1960. Sin embargo, refiere el autor que cuando se habla de los rendimientos es importante precisar que el componente final de azúcar por área es el producto de rendimiento en caña por área y el del porcentaje de azúcar recobrado y que sobre ambos componentes se ha trabajado en la investigación en forma permanente, ya que estos a su vez son el producto de muchas y complejas variables que pueden ser modificadas mediante el manejo agronómico y la genética. Cox, et al., (2000); Lawes y Lawn, (2005).

Rodríguez (2008), refiere que hoy en día es reconocido que el mejoramiento genético, con su resultado final, las nuevas variedades han influido en los aumentos de los rendimientos

alrededor del 50 % o más. Sin embargo la contribución del nuevo germoplasma y la de los nuevos avances de la tecnología en el manejo del cultivo son bastante complejos de estimar Edme et al.,(2005), pues intervienen además de las herramientas tecnológicas variables de tanta importancia como los suelos y la lluvia que recibe el cultivo anualmente. Rodríguez, (2008).

Gálvez (2010) indica que no es común la utilización de los datos que la industria puede proveer para asistir en las decisiones a tomar para el manejo de esta, que los pocos trabajos con suficiente rigor realizados con datos de la industria han revelado que existen tendencias sistemáticas en el comportamiento del rendimiento por área, en caña y en azúcar, donde a pesar de estos éxitos aislados, no existen análisis rutinarios usando los datos de la industria, menos aun utilizando las modernas técnicas de la estadística. Lawes y Lawn, (2005)

Gálvez (2010) sostiene que en Cuba se han realizado análisis aislados de los rendimientos con los datos de la industria, sobresaliendo los de Acosta (2000), que han sido realizados con propósitos muy específicos y resultados interesantes, aunque sin utilizar técnicas modernas de estadística. Sin embargo existe una gran cantidad de datos que brinda la industria que pueden ser utilizados de forma más moderna. Por su parte, Soto (2003) y Gálvez *et al.*, (2004 a; 2004 b; 2006), han utilizado datos de producción de la provincia La Habana de un periodo de 22 años para modelar el rendimiento en la caña de azúcar. Sin embargo el tema demanda de un trabajo más amplio por la importancia que puede tener para la toma de decisiones de la industria de la caña de azúcar en Cuba. Rodríguez, (2008).

Gálvez (2010) asegura que en el rendimiento en caña de azúcar de Cuba la ganancia es de 22 t caña. ha⁻¹ o de 0,55 t caña.año⁻¹ o de 1,54 % anual sobre el valor inicial y que en azúcar por área la ganancia total resulta 1,55 t azúcar.ha⁻¹ o sea 0,84 % de ganancia anual. Para conocer la magnitud de estos valores los comparó con el país Australia que ha tenido una ganancia de 28 t caña.ha⁻¹ y de 4 t azúcar. ha⁻¹ o sea 0,1 t azúcar. ha⁻¹.año. BSES, (2005). Donde llegó a la conclusión que la ganancia total de Australia fue de 2,9 veces mayor en azúcar por área que la de Cuba; además Australia partió de valores más altos que Cuba pues tenía 8 t azúcar.ha⁻¹ en 1950, mientras que Cuba tenía en la misma época 4,6 t azúcar.ha⁻¹, lo anterior significa que es más complejo aumentar los rendimientos en la situación de industria como la de Australia. Gálvez (2010).

Rodríguez (2008) explica que en el caso de Cuba es obvio que el aumento obtenido en azúcar por área, a través de los años, es debido casi totalmente al aumento en el rendimiento agrícola pues los valores de recobrado en sacarosa que promediaban 12,65 de 1951 a 1968, este comenzó a decrecer casi sistemáticamente a partir de esa fecha para obtener un promedio de 11,06 entre 1970 y 1990, es decir alrededor del 14 % menos del valor de sacarosa, rendimiento agrícola, que indica una asociación positiva, pero con una determinación de tiempo sobre el rendimiento solo del 37,66 %. Más adelante concluye que la interpretación de este resultado indica que hubo una tendencia a aumentar el rendimiento con el tiempo, pero que esta tendencia tuvo fluctuaciones anuales, debida seguramente a factores de manejo, Rodríguez (2008).

Álvarez (2001) agrega que especialmente la cantidad de área que se reponía anualmente y a la época del año en que se hacía, así como también la lluvia tanto total como por periodos puede ejercer gran influencia. Soto (2003) y Gálvez et al. (2004 a y b.), hallaron que la lluvia, tanto el total anual, como por diferentes periodos era un factor de gran importancia a tener en cuenta como componente del rendimiento agrícola y por lo tanto del rendimiento en azúcar por área.

Gálvez (2010) expone que la fertilización total también tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento agrícola, aunque con mayores fluctuaciones que el tiempo, así como también los problemas de manejo con los propios fertilizantes, su forma de usarlo, cantidades, formas de aplicación y otros factores pueden tener un efecto de importancia sobre el rendimiento, además de otros factores como la lluvia y el manejo de las épocas de siembra entre otros, Cuéllar *et al.*, (2005). Se concluye que el mayor efecto de los fertilizantes mayores ocurre sobre el rendimiento agrícola tal como ha reportado Sulroca, (1995) y que a su vez las t caña.ha⁻¹ tienen una determinación muy fuerte sobre las t pol.ha⁻¹ en coincidencia con lo planteado por Castro, (1992).

Rodríguez (2008), explica que el efecto de la mecanización sobre el recobrado fue prácticamente nulo ya que su R² fue solamente de 0,01 en el modelo de regresión lineal y que existe la creencia entre muchos productores en Cuba de que el incremento de la mecanización trajo consigo el decremento del recobrado, particularmente por la introducción de materias extrañas que trajo consigo la mecanización. Sin embargo, continúa el autor debe apuntarse que la introducción de la cosecha mecanizada no influyó negativamente en el

recobrado en azúcar de otros países como Australia que tiene prácticamente un 100 % de cosecha mecanizada desde hace más de 25 años y sus valores de recobrado no han disminuido, BSES, (2005). Concluye Gálvez (2010) que si se mantiene el porcentaje de materias extrañas bajo, se procesa la caña con menos de 18 horas y se cosechan variedades de alto contenido azucarero en el momento adecuado, no debe haber tendencias a decrecer el recobrado.

Cuéllar *et al.*, (2005) expresa que dos aspectos de gran importancia en el manejo no han sido tomados en consideración en el análisis de los rendimientos agrícolas e industrial: el efecto de las variedades, es decir el efecto genético y el de la humedad del suelo, tanto del riego como de la lluvia y que ambos efectos son complejos de medir en sus efectos.

Gálvez *et al.* (2004) utilizando el análisis de componentes principales y la regresión lineal múltiple para modelar el rendimiento de 22 cosechas en la provincia La Habana, hallaron que el efecto de las 3 variedades más azucareras era de alta importancia para definir el rendimiento. Posteriormente Edmé *et al.* (2005) hallaron importantes contribuciones a los aumentos del rendimiento del germoplasma de Canal Point a la industria de la caña de azúcar en la Florida por un periodo de 33 años. El autor se propone continuar con esta temática utilizando técnicas analíticas estadísticas más sofisticadas como la modelación entre otras.

Crossa, (1990) y Jones *et al.* (2004) sugieren que para disminuir los sesgos en que se incurren cuando se analizan datos en que las causas pueden estar confundidas por la multiplicidad de factores a tener en cuenta en los resultados finales.

I.3 Carencia que se quiere llenar con la investigación

Para lograr una buena explotación de las máquinas de riego que se están instalando en la agricultura cañera del país se deben aplicar entre 30 y 39 riegos en una campaña, de forma tal que posibilite un mayor aprovechamiento del agua aportada por las precipitaciones y que el riego con las máquinas sea el completamiento de las mismas para satisfacer el consumo de agua por parte de la caña de azúcar. Traba *et al.*, (2013).

En la Unidad Empresarial de Base Atención al Productor Antonio Sánchez se han instalados tres tipos de sistemas de riegos: con máquina de pivote central, de fertirriego localizado por goteo y por aspersión con enrolladores para suplir las necesidades hídricas de la caña,

donde ya las áreas están cubiertas por retoños de tres cortes. Sin embargo se desconoce la efectividad productiva y económica de estos sistemas. En el trabajo se realiza una comparación entre estos tres sistemas y un testigo en seco para determinar el sistema más efectivo desde el punto de vista económico y productivo.

II. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en condiciones de producción en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Atención al Productor Antonio Sánchez, durante la campaña 2013- 2014. En los sistemas: fertirriego por goteo de alta frecuencia Manuela de la UBPC Chapeo, máquina de pivote central Coco Solo de la UBPC Desquite y el de riego por aspersión con enrolladores La Frontal de la UBPC Victoria. Donde se efectuó una investigación no experimental en condiciones de producción. Se usó como testigo áreas de retoños en secano seleccionados con características similares a la de los sistemas.

En los sistemas el ciclo del cultivo estudiado corresponde a una caña de retoño de 13 meses de edad, en su tercer corte, de la variedad C86-12. Las mediciones se realizaron sobre un suelo ferralítico rojo típico, con similares condiciones climáticas, manejo agronómico e incidencia de plagas y enfermedades en las siguientes áreas:

Tabla 1: Sistema de pivote central (Agrocaja), Coco solo de la Desquite

BLOQUE	CAMPO	Área (ha)
651	1	7,51
651	2	8,72
652	1	9,26
652	2	8,59
	Subtotal	34,08

Tabla 2: Sistema de fertirriego localizado por goteo de alta frecuencia, Manuela de la UBPC Chapeo.

BLOQUE	CAMPO	Área (ha)
205	1	7,16
205	2	7,03
205	3	7,16
205	4	7,03
204	1	7,16
204	2	7,16
204	3	7,16
204	4	7,16
	Subtotal	57,02

Tabla 3: Sistema de riego por aspersión con enrolladores, La Frontal de la UBPC Victoria.

BLOQUE	CAMPO	Área (ha)
131	2	3,21
131	3	3,9
131	4	4,03
132	1	8,64
132	2	8,64
138	5	5,66
138	6	6,75
138	7	5,76
	Subtotal	46,59

Tabla 4: Áreas de secano de la UBPC Victoria

BLOQUE	CAMPO	Área (ha)
124	2	6,82
124	3	6,95
124	4	12
124	5	9,98
101	1	1,96
101	2	3,92
119	3	5,88
	Subtotal	52,49

II.1 Caracterización de las condiciones de explotación de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.

Para la caracterización del sistema de riego se tomó la tarea técnica establecida por la firma Netafin, de Israel, quienes tuvieron a cargo el diseño y montaje del sistema, de conjunto con las UBPC: Chapeo, Victoria y Desquite de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez y GETAMEC, donde se incluyó:

- El diseño tecnológico.
- Precipitaciones registradas en el pluviómetro del sistema por goteo durante el periodo evaluado.
- Datos de evapotranspiración de retoños con el tercer corte establecidos experimentalmente por Gutiérrez *et al.* (2012) y Traba *et al* (2013).
- Número de riegos ejecutados por mes.
- Se calcularon los siguientes índices según las recomendaciones de Traba *et al.* (2013):
- Lluvia aprovechable (mm): obtenido del 70% de la lluvia registrada en cada sistema.
- Déficit hídrico (mm): resultante de la diferencia entre la lluvia aprovechable y la evapotranspiración.
- Riegos a ejecutar por mes: se obtuvo de la división de la norma potencial de riego (mm) de cada sistema con el déficit hídrico obtenido.

A los datos de los indicadores calculados en los sistemas de riego evaluados se le aplicó comparaciones de media con prueba de Tukey, para determinar si existe diferencia significativa entre ellos para $P \leq 0.05$.

II.2 Comparación de la efectividad productiva de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.

Para la comparación de la efectividad de diferentes de los sistemas de riego: máquina de pivote central, fertirriego localizado por goteo y aspersión con enrolladores instalados, antes de la cosecha se tomaron muestras en las áreas seleccionadas siguiendo la metodología para la determinación de la madurez de la caña establecimiento de la estrategia de corte en la cosecha MINAZ (2012). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de la fábrica de

azúcar Antonio Sánchez donde se le efectuaron las siguientes mediciones de calidad industrial:

- % de sólidos totales solubles disueltos en el jugo de la caña (Brix).
- % de sacarosa disuelta en el jugo de la caña (Pol).
- Relación establecida entre la pol y el brix (% Pureza)
- Contenido de fibra de la caña (%).
- Pol caña
- Azúcar extraída Rendimiento base 96.
- Rendimiento Potencial de la Caña (RPC).

Se calcularon además los siguientes indicadores:

- Rendimiento agrícola ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).
- Rendimiento en azúcar ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)

A los datos de los indicadores y componentes del rendimiento industrial se le aplicó análisis de varianza simple con comparaciones de medias por rangos múltiples de Duncan para $P < 0.05$. Donde se usó para ello el paquete estadístico SPSS versión 15.0.

II.3 Comparación de la efectividad económica de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez

Para la evaluación económica de los tratamientos aplicados se empleó la Instrucción complementaria 01 del MINAZ, (2006), que instruye para la entidades productoras de caña, el cálculo de los costos por hectáreas, incluyendo los totales resultantes de la sumatoria de las monedas CUC y MN, teniendo en cuenta que el índice de conversión entre ellas es de uno por uno. De igual manera se procede con los ingresos, cuyo valor base para el cálculo es de 105.00 pesos. t^{-1} de producción de caña y de 1218.60 pesos. t^{-1} de producción de azúcar Para el índice de rentabilidad se procedió a dividir los ingresos totales entre los costos totales por sistema más el testigo en seco.

Para los costos en la producción de caña se tomó el costo de producción de cada uno de los sistemas donde se incluyeron los siguientes gastos:

- Gasto en salario y seguridad social (MP).
- Gasto en materiales e insumos del proceso (MP).
- Gasto en amortizaciones anuales por la compra de la máquina de riego (MP).
- Gasto en amortizaciones anuales de la cepa (MP).
- Gastos de la cosecha (MP)
- Costo del agua (MP)
- Otros gastos (MP).

A los datos de las variables económicas se le aplicó análisis de varianza simple con comparaciones de medias por rangos múltiples de Duncan para $P < 0.05$. Donde se usó para ello el paquete estadístico SPSS versión 15.0.

II. Resultados y discusión

III.1 Caracterización de las condiciones de explotación de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez

Caracterización del sistema de fertirriego localizado por goteo "Manuela" de la UBPC Chapeo

En el sistema de riego por goteo de alta frecuencia Manuela de la UBPC Chapeo se caracteriza por presentar el siguiente diseño tecnológico:

- Marco de plantación de la caña: 1,60 m con manguera porta goteros con espesor de 0,9 mm.
- Evapotranspiración máxima diaria: 5.5 mm.
- Espaciamiento entre goteros: 0,60 m.
- Tiempo de riego máximo: 18 horas diarias.
- Se considera fertirrigación desde la estación de bombeo central con bomba dosificadora.
- El grupo de filtrado garantiza el correcto funcionamiento del sistema utilizando agua subterránea en las áreas beneficiadas.
- Se colocaron los colectores de drenaje.
- Se tienen en cuenta que los sectores de riego sean en la misma dirección y en ambos sentidos de los surcos o en un sólo sentido según sea el caso, qué posibilitan simultanear la cosecha y otras labores agrícolas con el riego, aunque no se alcance un balance de caudal y carga óptimos.
- Se considera una automatización sencilla consistente, parada y arranque por sectores de riego con programador automático.
- Se mantienen no mayor del 10 por ciento la diferencia de caudal entre el primero y último gotero de los laterales.
- Se consideran las velocidades del agua en las conductoras entre los rangos permisibles. (2.2 –1.5 m. seg⁻¹).
- Goteros con condiciones que garantizan un perfecto funcionamiento en las condiciones de trabajo soterrado entre 0.30 a 0.40 m de profundidad.

La lluvia registrada en el sistema de fertirriego por goteo de alta frecuencia Manuela (Figura 1) muestra que llovió por encima de la evapotranspiración de la caña en los meses de mayo (472 mm) a agosto (171 mm), donde en el resto de los meses la lluvia estuvo por debajo de los requerimientos del cultivo. De las precipitaciones registradas las aprovechables por el cultivo estuvieron por encima de la evapotranspiración en los meses de mayo (330.4 mm) a agosto (119.7 mm). Estos resultados coinciden con lo planteado por Sáens, (2004) la época lluviosa está comprendida en los meses de mayo a septiembre, sin embargo se observa que el mismo se ha acortado en un mes en este sistema de riego lo cual afecta la producción de caña y de azúcar.

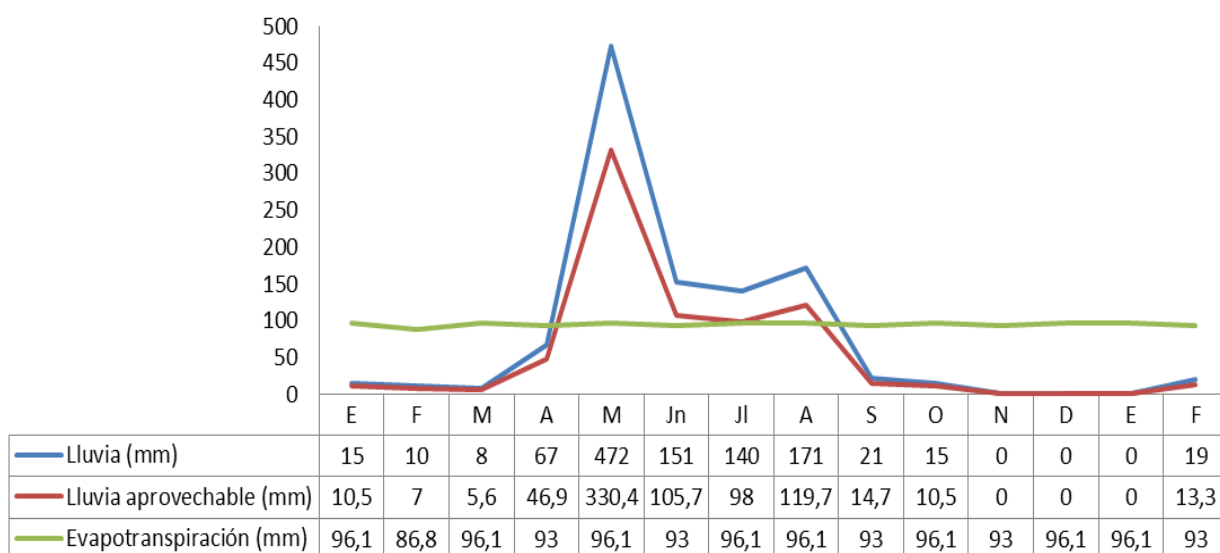


Figura 1: Lluvia registrada, aprovechable y la evapotranspiración de los retoños en el sistema de fertirriego por goteo de alta frecuencia Manuela de la UBPC Chapeo.

El déficit hídrico de los retoños en el sistema de fertirriego por goteo de alta frecuencia Manuela (Figura 2), muestra la necesidad de regar agua para poder elevar las producciones de caña y azúcar en el cultivo en 10 meses de los 13 del ciclo de los retoños pues llovió por debajo de la evapotranspiración del cultivo. El déficit hídrico osciló entre -96.1mm (meses de diciembre y enero) y -32.8 mm (abril). Mientras que llovió lo suficiente para cubrir las necesidades del cultivo en los meses de mayo (87.3 mm) y agosto (55.8 mm). Estos resultados coinciden con lo planteado por PMA e IPF, (2004) y Sáens, (2004) en lo referente a que la lluvia se vuelve cada vez más un factor limitante para el desarrollo de la caña que en Cuba se establece en secano en la mayoría de las áreas, su distribución en el transcurso del

año es desigual, alternándose períodos secos y lluviosos y su variación interanual es sumamente alta, por eso resulta cada vez más necesario la instalación de sistemas de riego eficientes que mantengan la humedad del suelo en niveles que satisfagan los requerimientos de la evapotranspiración del cultivo.

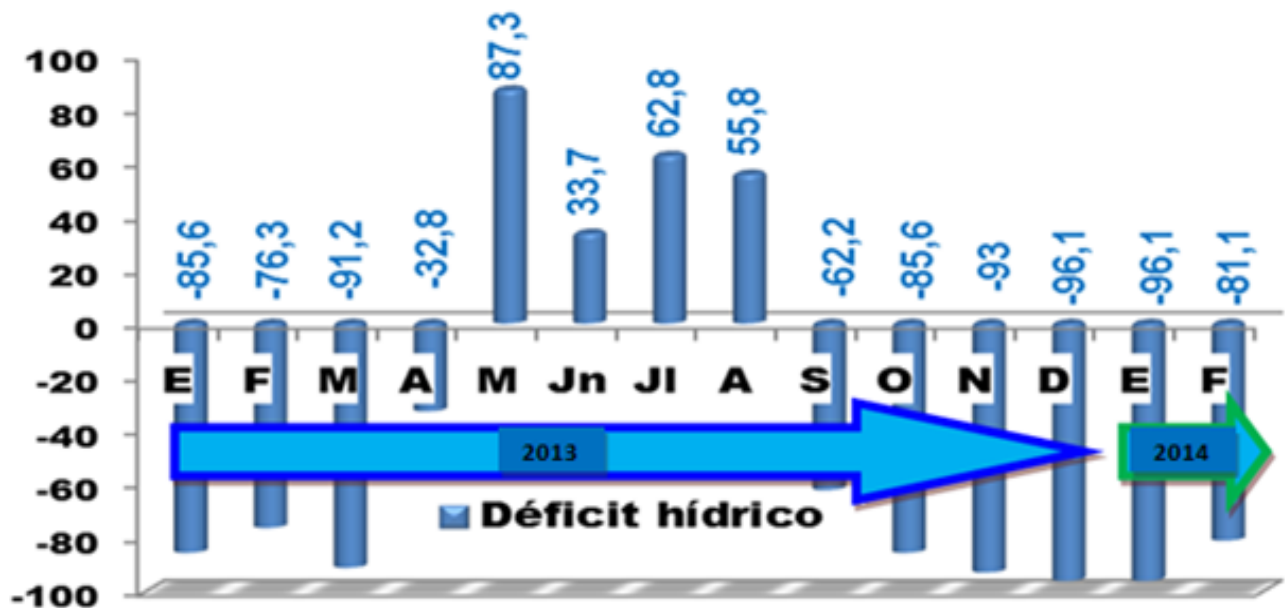


Figura 2: Déficit hídrico de los retoños en el sistema de fertirriego por goteo de alta frecuencia Manuela de la UBPC Chapeo.

El número de riegos ejecutados a los retoños en el sistema de fertirriego por goteo de alta frecuencia Manuela (Figura 3) muestra que se regó según los requerimientos del cultivo en los meses de marzo hasta octubre. En los dos primeros meses del ciclo de los retoños se regó por debajo de los requerimientos en este periodo llamado de crecimiento heterogónico en esta fase Gutiérrez *et al.* (2012) recomienda aplicar 2 riegos con lo cual obtuvo las producciones de caña y azúcar más elevadas y en el sistema no se aplicó ninguno.

En el periodo de crecimiento (marzo a septiembre) se aplicaron 10 riegos de una necesidad de 8, este resultado indica que se aplicó más agua que la necesaria lo cual puede causar un incremento de los costos de producción del cultivo.

En el periodo de maduración (octubre enero) se aplicaron 7 riegos de 10 necesario para suplir los requerimientos del cultivo, aunque esta es una etapa donde la humedad del suelo

no debe ser muy elevada pues se puede afectar la producción de azúcar y reducir su efectividad económica y productiva. Gutiérrez *et al.*, (2012).

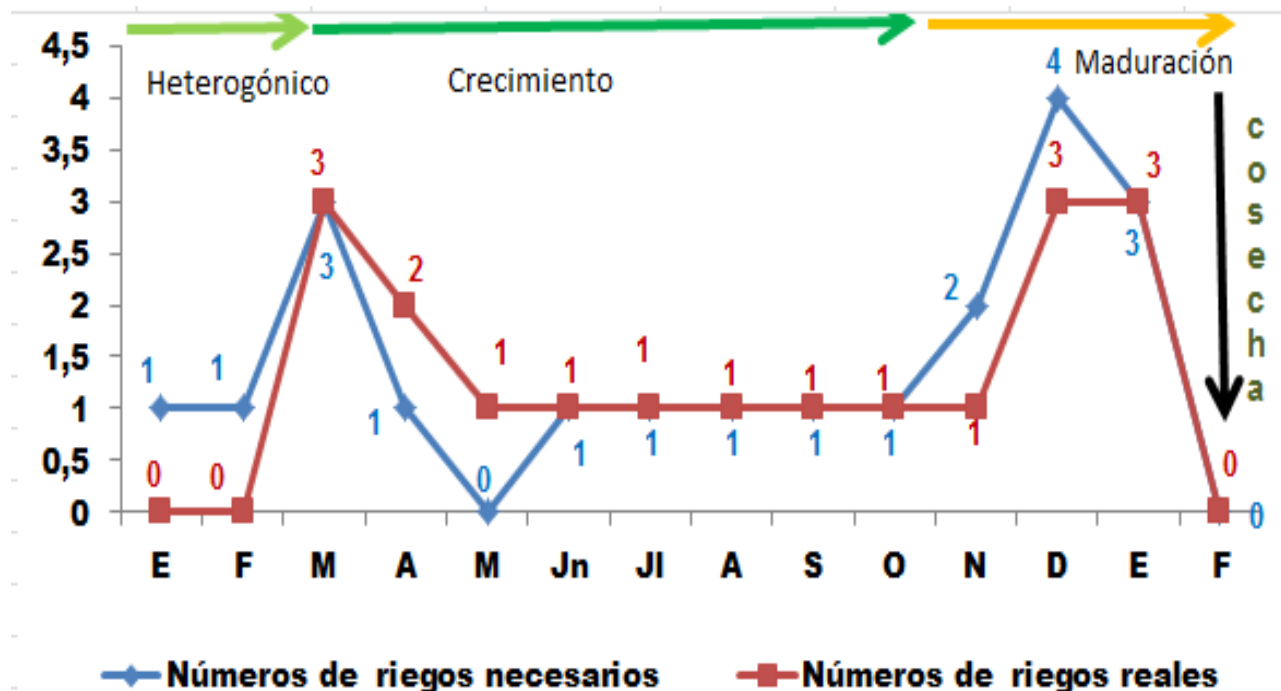


Figura 3: Número de riegos ejecutados a los retoños en el sistema de fertirriego por goteo de alta frecuencia Manuela de la UBPC Chapeo.

Caracterización del sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "La loma" de la UBPC Victoria

En el sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "Coco Solo" de la UBPC Desquite se caracteriza por presentar el siguiente diseño tecnológico:

- Modelo de pivote: AGROCAJA P-658
- Marco de plantación de la caña: 1,60 m con manguera porta boquilla con espesor de 0,9 mm.
- Evapotranspiración máxima diaria: 5.5 mm.
- Espaciamiento entre boquillas: 0,60 m.
- Tiempo de riego máximo: 18 horas diarias.
- Diámetro exterior de la tubería: 6 5/8" (168 mm)

- Diámetro interior de la tubería (mm): 162 mm
- Longitud del tramo largo (m): 44 m
- Longitud hasta la última torre (m): 484 m
- Longitud del alero final (m): 15 m
- Longitud total del pivote (m): 499 m
- Sector círculo (360/360): 1
- Radio regado(m): 505 m
- Superficie regada bruta (Ha): 80.08
- Superficie regada neta (Ha): 78
- Tiempo mínimo en dar una vuelta (h): 22.34
- Tipo de neumático Normales: (r =0.5 m) (11,2 /10,24)
- Potencia de un motor (CV): 1.5
- Tensión de funcionamiento (V): 480

La lluvia registrada, lluvia aprovechable y evapotranspiración en el sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "Coco Solo" (Figura 4) muestra que en este sistema se registraron precipitaciones por encima de la evapotranspiración en los meses de mayo (262 mm) a agosto (217 mm), de igual manera estos fueron los meses en la lluvia aprovechable para el cultivo superó los valores del gasto biológico del cultivo lo que ratifica lo planteado por PMA e IPF, (2004) y Sáens, (2004) en lo referente a que la lluvia se vuelve cada vez más un factor limitante para el desarrollo de la caña que en Cuba pues el periodo lluvioso se acorta cada vez más, lo cual hace cada vez más necesario el establecimiento de sistemas de riego que permitan elevar las producciones de caña y de azúcar por hectárea plantada.

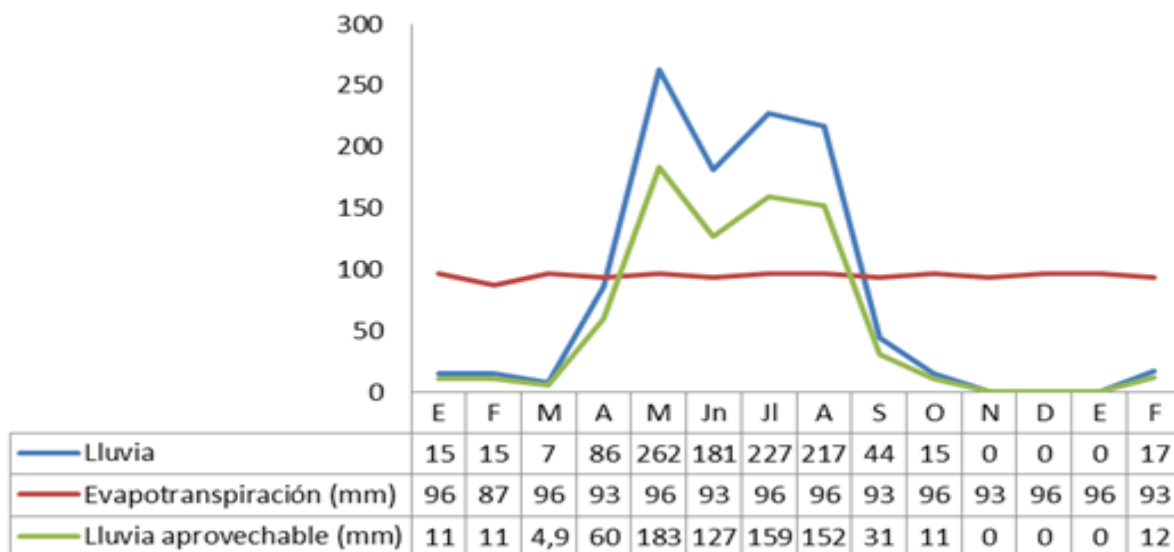


Figura 4: Lluvia registrada, lluvia aprovechable y evapotranspiración en el sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "Coco Solo" de la UBPC Desquite.

El déficit hídrico de los retoños en el sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "Coco Solo" (Figura 5) evidencia que llovió por debajo de los requerimientos del cultivo en 10 de los 13 meses del ciclo de los retoños, con valores similares al sistema analizado anteriormente lo cual demuestra que ambos presentan condiciones parecidas en cuanto a las precipitaciones. Solo llovió por encima de la evapotranspiración en los meses de mayo a agosto, lo que muestra un acortamiento del periodo lluvioso como se analizó anteriormente.

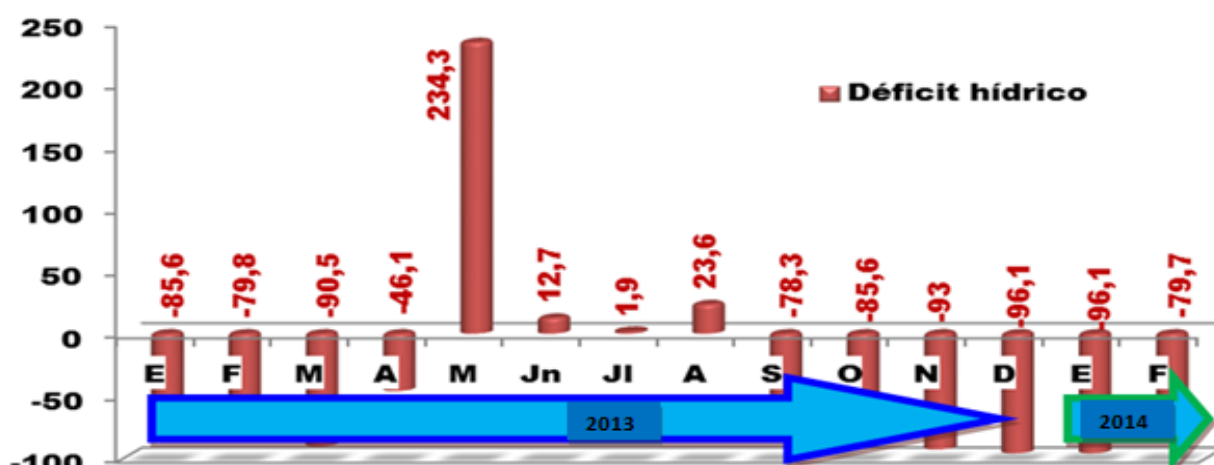


Figura 5: Déficit hídrico de los retoños en el sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "Coco Solo" de la UBPC Desquite.

Los riegos ejecutados a los retoños en el sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "Coco Solo" (Figura 6) indican que en el periodo poco lluvioso no se aplicaron los riegos necesarios para suplir los requerimientos del cultivo donde se aplicaron 12 de 16; así como también en el mes de julio con un riego en vez de dos planificados, lo cual puede afectar las producciones de caña y azúcar del sistema y reducir su efectividad económica y productiva. Gutiérrez et al., (2012).

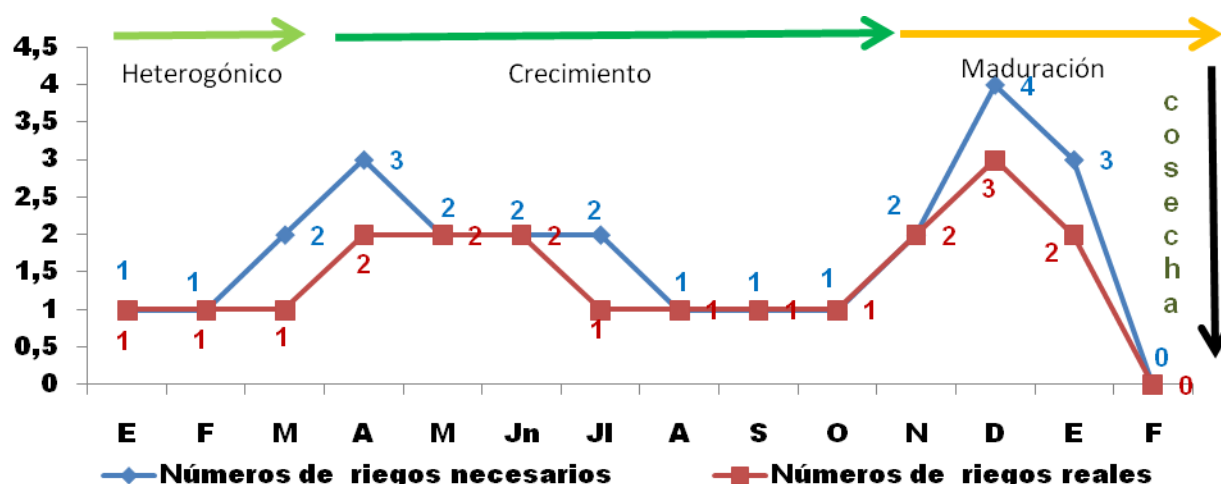


Figura 6: Riegos ejecutados a los retoños en el sistema de riego por aspersión con máquina de pivote central "Coco Solo" de la UBPC Desquite.

Caracterización del sistema de riego por aspersión con enrolladores "La Frontal" de la UBPC Victoria

En el sistema de riego por aspersión por aspersión con enrolladores "La Frontal" de la UBPC Victoria se caracteriza por presentar el siguiente diseño tecnológico:

- Modelo de enrollador: IRTEC 500M
- Marco de plantación de la caña: 1,60 m
- Diámetro del tambor (mm): 1700
- Ancho del tambor (mm): 1400
- Largo de la manguera (m): 250
- $\varnothing$ exterior de la manguera (mm): 90
- Aspersor: sp (sectorizado a 120°) --
- Área regada desde una posición (Ha): 1.5-2.4
- Lámina aplicada (mm): 12 a 85
- Presión hidrante (atm): 5 a 10
- Gasto (lps): 5.8 a 15.3
- Pérdida presión en manguera (atm): 0.6-3.9
- Alcance del aspersor (m): 33 - 49
- $\varnothing$ boquillas (mm): 18, 20, 22 y 24
- Velocidad de enrollamiento (cm/min): 14 - 100
- Peso de la manguera vacía (Kg): 400
- Peso carro del aspersor (Kg): 40

- Peso aspersor (Kg): 6.15
- Trocha para el carro del aspersor (m): 1.6-2.5

La lluvia aprovechable y la evapotranspiración en el sistema de riego por aspersión con enrolladores "La Frontal" (Figura 7) exhiben resultados similares a los de los otros sistemas analizados anteriormente, donde los meses donde llovió por encima de la evapotranspiración fueron de mayo (283 mm) a agosto (206 mm) con una disminución en el mes de junio lo que provocó que la lluvia aprovechable fuera inferior a las necesidades biológicas del cultivo. En el resto de los meses llovió por debajo aunque se destaca que llovió en el mes de febrero en el periodo de cosecha, lo cual puede afectar las producciones de caña y de azúcar del sistema y disminuir su efectividad económica y productiva. Gutiérrez *et al.*, (2012).

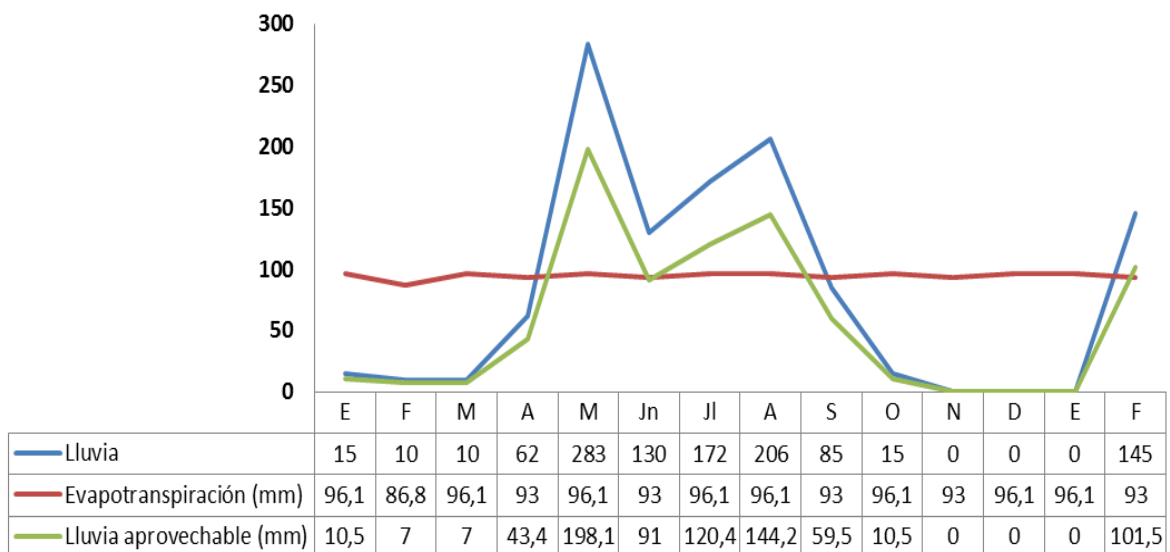


Figura 7: Lluvia aprovechable y evapotranspiración en el sistema de riego por aspersión por aspersión con enrolladores "La Frontal" de la UBPC Victoria.

El déficit hídrico del sistema de riego por aspersión con enrolladores "La Frontal" (Figura 8) muestra resultados similares a los obtenidos en los sistemas anteriormente analizados, donde se observa que llovió por debajo de los requerimientos biológicos del cultivo en los meses de enero (-85.6mm) a abril (-49.6 mm), así como de septiembre (-33.5 mm) a enero (-96.1 mm). Mientras que llovió por encima de la evapotranspiración de mayo (102 mm) a agosto (48.1 mm), donde se observan además lluvias por debajo de las necesidades del

cultivo en el mes de junio, en pleno periodo de crecimiento, así como se reportan precipitaciones en el mes de febrero del 2004 lo cual puede provocar afectaciones a las producciones de azúcar y caña, así como disminuir la efectividad productiva y económica del sistema. Gutiérrez, (2012).

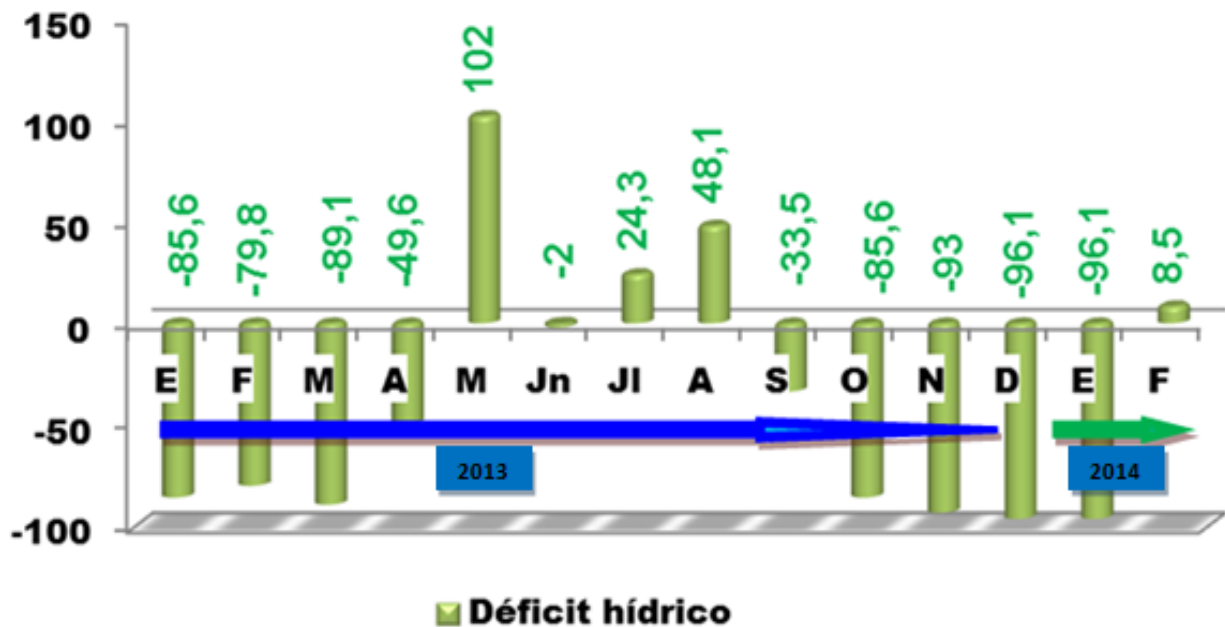


Figura 8: Déficit hídrico del sistema de riego por aspersión con enrolladores "La Frontal" de la UBPC Victoria.

El número de riegos necesarios y aplicados en los retoños en el sistema por aspersión con enrolladores "La Frontal" (Figura 9) muestra que en el periodo heterogónico se aplicaron cinco riegos de 7 necesarios para cubrir las necesidades del cultivo. Mientras que en la fase de crecimiento se aplicaron los 6 que se requirieron por la diferencia de las lluvias por lo que se suplieron las necesidades hídricas en dicha fase, en la fase de maduración se aplicaron 5 riegos de 8 que se requerían para cubrir la evapotranspiración. Estos resultados implican que se puede afectar la producción de caña y de azúcar por hectárea de retoño, así como la efectividad del sistema tanto económica como productiva. Gutiérrez *et al.*, (2012).

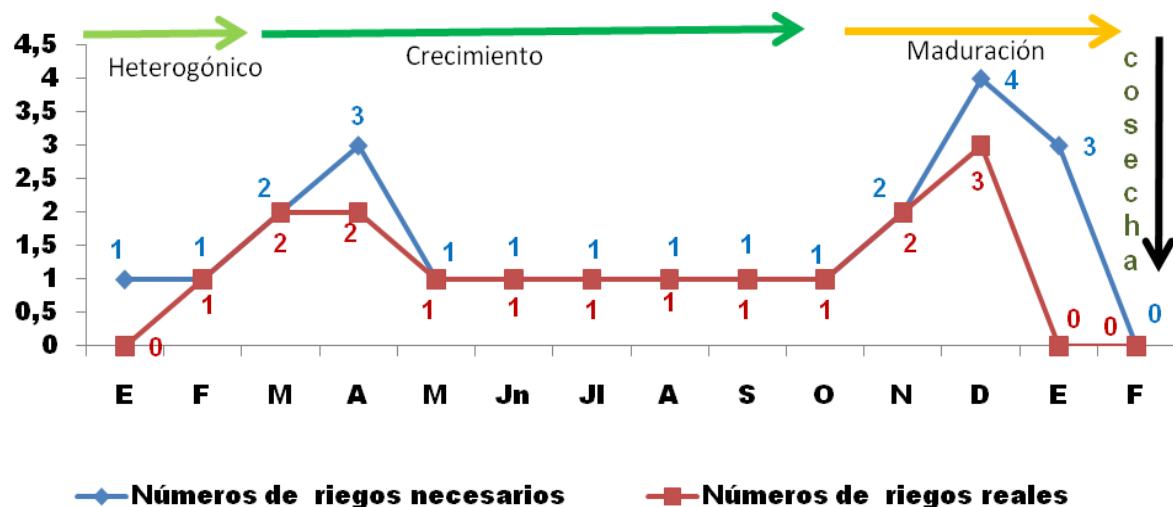


Figura 9: Número de riegos necesario y aplicados en los retoños en el sistema por aspersión con enrolladores "La Frontal" de la UBPC Victoria

Las comparaciones de media con prueba de Tukey de la Lluvia registrada y la lluvia aprovechable (Figura 10) en los sistemas de riego evaluados muestra que no existió diferencia estadística (Para $p \leq 0.05$) entre los sistemas fertirriego por goteo (1089 mm) y riego por aspersión con enrolladores (1086 mm), donde en el sistema de riego con máquina de pivote central (1133 mm) se produjeron los valores más elevados, lo cual se refleja en las lluvias aprovechables que fueron superiores también en este sistema.

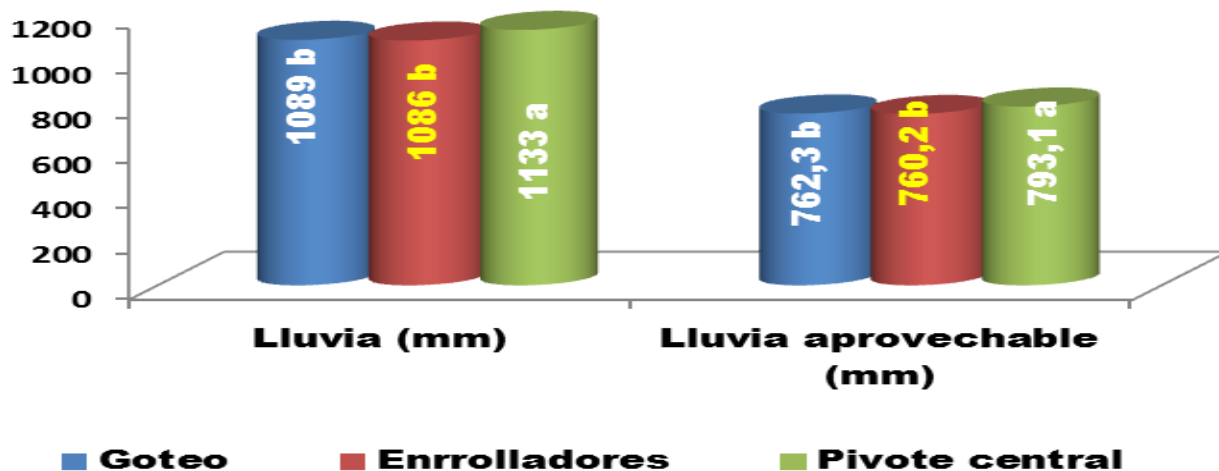


Figura 10: Comparaciones de media con prueba de Tukey de la Lluvia registrada y la lluvia aprovechable en los sistemas de riego evaluados.

Las comparaciones de media con prueba de Tukey del déficit hídrico en los sistemas de riego evaluados (Figura 11), muestran que el menor déficit hídrico se produjo en la máquina de pivote central (-527.5 mm) que tuvo diferencia significativa con los otros dos sistemas (-558.3 mm y -560.4 mm) que muestran mayor déficit hídrico, donde las necesidades de riego por tanto son superiores.

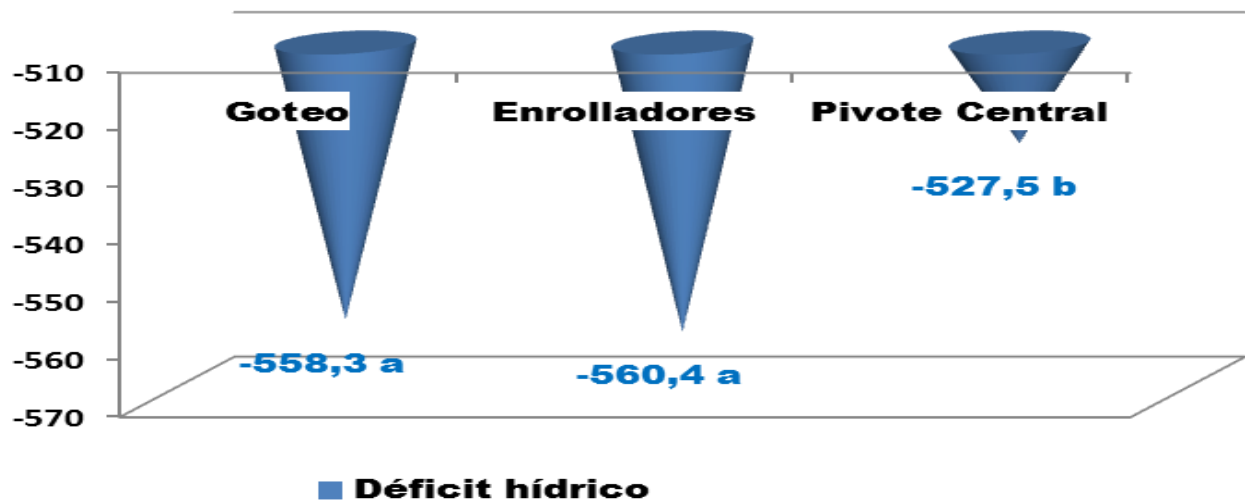


Figura 11: Comparaciones de media con prueba de Tukey del déficit hídrico en los sistemas de riego evaluados.

Las comparaciones de media con prueba de Tukey de los riegos aplicados en los sistemas evaluados (Figura 12) muestran que en ninguno se hicieron las aplicaciones de agua necesarias, donde existe diferencia estadística significativa entre estos, donde las mayores aplicaciones de agua se efectuaron en el fertirriego por goteo (20 riegos de 22 con el 90.9%) donde además se aplican fertilizantes con lo cual se crea un estado nutricional e hídrico favorable con lo que se puede elevar las producciones, así como su eficiencia económica y productiva.

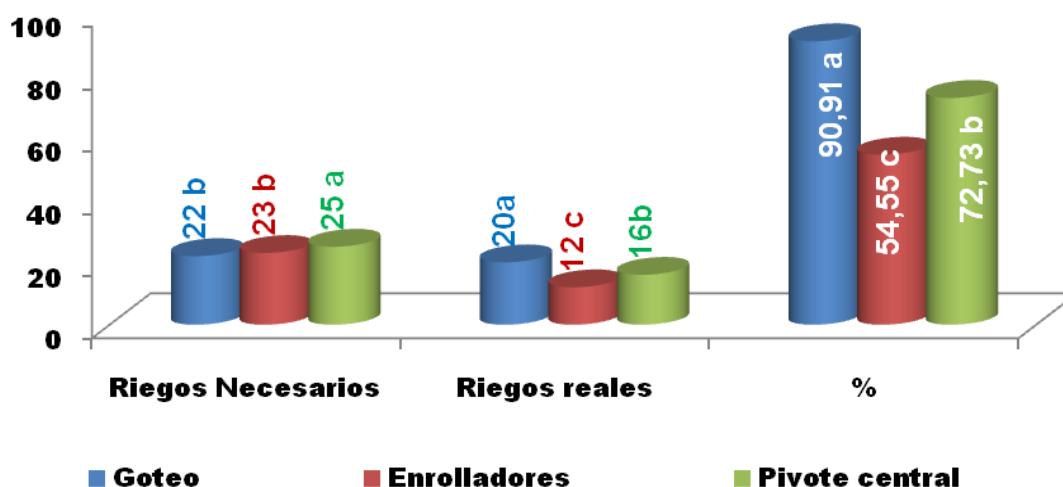


Figura 12: Comparaciones de media con prueba de Tukey de los riegos aplicados en los sistemas evaluados.

III.2 Comparación de la efectividad productiva de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.

Las comparaciones de media con prueba de Tukey de indicadores de calidad del jugo de los retoños en los sistemas de riego evaluados aparecen en la tabla 5:

Tabla 5: Comparaciones de media con prueba de Tukey de los indicadores de calidad del jugo de los retoños en los sistemas de riego evaluados.

Sistemas de riego	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Fibra (%)
Máquina de Pivote Central	21,27b*	18,61bc	88.08b	17,05a
Fertirriego localizado por Goteo	21,46b	19,19b	89,49ab	16,10b
Aspersión con enrolladores	20,30c	18,00c	88,41ab	16,39b
Secano (Testigo)	22,82a	20,54a	90,43a	16,23b
ES (±)	0,19	0,20	0,30	0,10
CV	0,87	1,07	0,34	0,63

*Letras iguales en las columnas no hay diferencia significativa para $P \leq 0.05$.

Como se observa (Tabla 5) la mayor concentración de azúcar aparece en los retoños de secano lo cual concuerda con lo reportado por Traba *et al.* (2013) quien refiere que un incremento de la humedad del suelo disminuye la concentración de sacarosa (Pol), así como del resto de los sólidos solubles presentes en el jugo (Brix) y de la pureza de este. Lo cual puede influir negativamente sobre la eficiencia industrial si la humedad es excesiva.

No es visible en los resultados diferencia estadística entre los sistemas de riego con máquina de pivote central y fertirriego localizado por goteo en cuanto a los % de pol, brix y pureza, donde además no existió diferencia con el sistema de riego por aspersión con enrolladores.

El sistema de riego con máquina de pivote central muestra los valores más elevados de fibra (17.05%) donde el resto de los sistemas no tuvieron diferencia significativa con el testigo de secano.

El sistema de riego con enrolladores presentó los valores de pol (18.0%) y brix (20.3%) inferiores, lo cual puede afectar la producción de azúcar y la eficiencia productiva y económica del sistema.

La influencia del agua presente en los tallos molibles y su efecto sobre el rendimiento industrial ha sido estudiada por varios autores quienes encontraron correlación alta, significativa y negativa entre ellos (Srinivasan, 1983). Lo que indica que la influencia del riego, puede ser negativa para el rendimiento industrial si se efectúan en cantidades elevadas en la fase de maduración o si llueve durante el periodo de cosecha, Pinna *et al.*, (1983) como sucedió en el sistema de aspersión con enrolladores lo cual pudo haber influido también en la baja concentración de sacarosa y presentar el jugo de menor calidad en cuanto a los parámetros medidos.

Las comparaciones de media con prueba de Tukey de indicadores productivos azucareros de los retoños en los sistemas de riego evaluados aparecen en la tabla 6:

Tabla 6: Comparaciones de media con prueba de Tukey de indicadores productivos azucareros de los retoños en los sistemas de riego evaluados.

Sistema de riego	Pol caña (%)	Rendimiento base 96	RPC (%)
Máquina de Pivote Central	15,43bc	11,60c	12,89c
Fertirriego localizado por Goteo	16,10b	12,23b	13,61b
Aspersión con enrolladores	15,02c	11,40c	12,54c
Secano (Testigo)	16,68a	12,96a	14,20a
ES ($\pm$)	0,14	0,09	0,14
CV (%)	0,89	0,68	1,05

*Letras iguales en las columnas no hay diferencia significativa para $P \leq 0.05$.

Los resultados muestran (Tabla 6) que la producción de azúcar por tonelada de caña será superior en los retoños en secano pues poseen mayor contenido de azúcar en sus tallos lo cual se refleja en los valores de Pol en caña (16.68 %), rendimiento base de azúcar con un 96% de humedad (12.96 %) y RPC (14.20 %). Los menores valores de estos indicadores se presentan en el sistema de riego por aspersión con enrolladores y la máquina de pivote central que no presentaron diferencia significativa entre ellos.

De los sistemas el de mayor producción de azúcar será el fertirriego localizado por goteo el cual eleva su eficiencia al incluir el suministro de fertilizantes de gran solubilidad muy cercanos a la raíz y de forma controlada por ordenador lo que lo hace ser un sistema muy eficiente no solo en la entrega de agua sino de los nutrientes que necesita el cultivo, Del Solar, (2012), en el resto de los sistemas y el testigos se aplicaron los fertilizantes de la forma tradicional, enterrados a ambos lados de la cepa.

El rendimiento de azúcar calculado en los sistemas de riegos evaluados (Figura 13) muestran el sistema de fertirriego por goteo localizado tendrá los mayores rendimientos de azúcar por hectárea cosechada, seguido de por el sistema de pivote central con el que no tuvo diferencia significativa en cuanto a la producción de azúcar en toneladas, aunque en este indicador influye también el área cosechada que es superior en este último. Estos resultados concuerdan con el criterio planteado por: Gálvez (2010) y Rodríguez (1989), que explican que en el caso de Cuba el aumento obtenido en azúcar por área, a través de los

años, es debido casi totalmente al aumento en el rendimiento agrícola y no a la calidad de los jugos, lo cual explica el hecho de que el testigo en seco tenía los valores de calidad más elevados, y sin embargo produce las menores cantidades de azúcar donde no presentó diferencia significativa con el sistema de riego por aspersión con enrolladores.

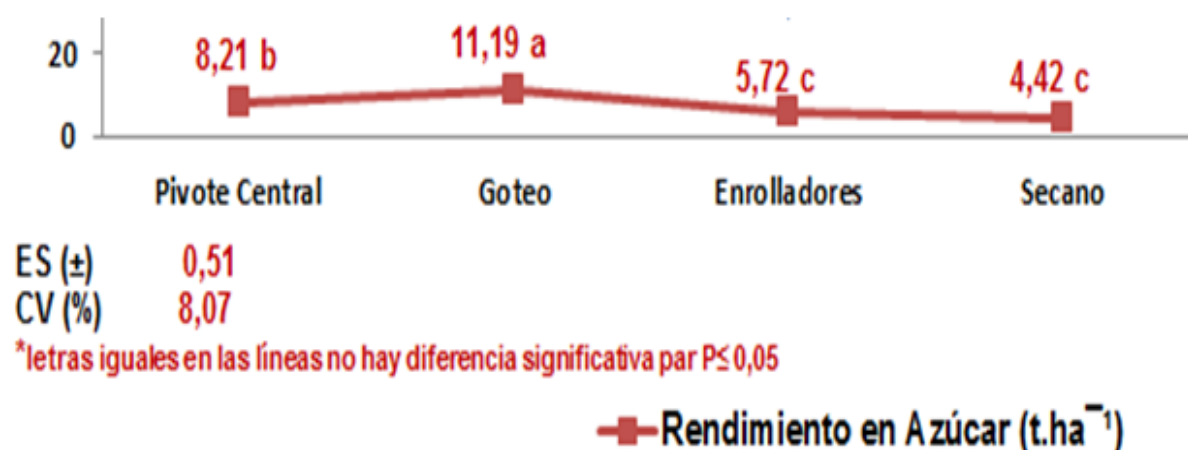


Figura 13: Rendimiento de azúcar calculado en los sistemas de riegos evaluados.

Las comparaciones de media con prueba de Tukey de indicadores productivos cañeros de los retoños en los sistemas de riego evaluados aparecen en la tabla 7:

Tabla 7: Comparaciones de media con prueba de Tukey de indicadores productivos cañeros de los retoños en los sistemas de riego evaluados.

Sistemas de riego	Rendimiento caña (t.ha ⁻¹)	Área (ha)	Volumen (t)
Máquina de Pivote Central	70,69b	12,20a	862,24a
Fertirriego localizado por Goteo	91,53a	7,13b	651,93a
Aspersión con enrolladores	50,18c	6,56b	242,08b
Secano (Testigo)	34,1d	5,82b	291,38b
ES (±)	4,23	0,65	58,75
CV (%)	6,87	8,15	11,48

*Letras iguales en las columnas no hay diferencia significativa para $P \leq 0.05$.

Como se observa (Tabla 7) los rendimientos más elevados (91.53 t.ha^{-1}) aparecen en el sistema de fertirriego localizado por goteo que presentó diferencia significativa con los otros dos y el testigo (34.1 t.ha^{-1}), donde fue en este sistema donde se aplicó el mayor porcentaje de riegos respecto a los necesarios. Mientras que los valores más bajos (50.18 t.ha^{-1}) se presentan en el sistema de riego por aspersión con enrolladores donde el porcentaje de satisfacción de los requerimientos hídricos del cultivo fue el más bajo. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Sulroca, (1995), Cuéllar *et al.*, (2002) y Gálvez (2010) quienes coinciden en que tanto el riego como la fertilización influyen más sobre el rendimiento agrícola que sobre el industrial, donde este último se eleva como consecuencia directa del incremento del rendimiento agrícola al existir mayor cantidad de caña.

III.3 Comparación de la efectividad económica de los tres sistemas de riegos instalados en retoños de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez

Las comparaciones de media con prueba de Tukey de los principales indicadores económicos cañeros de los retoños en los sistemas de riego evaluados aparecen en la (tabla 8).

Tabla 8: Comparaciones de media con prueba de Tukey de los principales indicadores económicos cañeros de los retoños en los sistemas de riego evaluados.

Sistemas de riego	Caña		
	Ingreso (MP.ha ⁻¹)	Costo (MP.ha ⁻¹)	Rentabilidad (MP.ha ⁻¹)
Máquina de Pivote Central	9031,87b	1170,14b	7854,29b
Fertirriego localizado por Goteo	12313,57a	1240,45a	11073,13a
Aspersión con enrolladores	6291,18c	1044,12c	5247,06c
Secano (Testigo)	4860,71d	899,8d	3960,91c
ES (±)	6,91	6,87	7,70
CV (%)	46,08	4,23	541,34

*Letras iguales en las columnas no hay diferencia significativa para $P \leq 0.05$.

Se observa (Tabla 8) que el sistema más eficiente desde el punto de vista en producción de caña fue el de fertirriego localizado por goteo en todos los indicadores, seguido por la máquina de pivote central. El sistema de riego por aspersión con enrolladores no solo fue el de menores resultados (5247.06 MP.ha⁻¹ de rentabilidad) sino que no tuvo diferencia significativa con el testigo de secano, lo cual lo convierte en un sistema altamente ineficiente desde el punto de vista económico en las condiciones evaluadas.

Las comparaciones de media con prueba de Tukey de los principales indicadores económicos azucareros de los retoños en los sistemas de riego evaluados aparecen en la (Tabla 9)

Tabla 9: Comparaciones de media con prueba de Tukey de los principales indicadores económicos azucareros de los retoños en los sistemas de riego evaluados.

Sistemas de riego	Azúcar		
	Ingreso (MP.ha ⁻¹)	Costo (MP.ha ⁻¹)	Rentabilidad (MP.ha ⁻¹)
Máquina de Pivote Central	9031,88b	818,61b	8213,27b
Fertirriego localizado por Goteo	12313,58a	1728,38a	10585,20a
Aspersión con enrolladores	6291,18c	1253,30ab	5037,88c
Secano (Testigo)	4860,71d	910,62b	3950,09c
ES (±)	6,91	8,43	7,70
CV (%)	561,58	99,25	541,34

*Letras iguales en las columnas no hay diferencia significativa para $P \leq 0.05$.

Se aprecia (Tabla 9) como los resultados son similares a los obtenidos en la producción de caña. Donde el fertirriego localizado con goteo muestra la mayor rentabilidad (10585.20 MP.ha⁻¹) seguido por la máquina de pivote central (8213.27 MP.ha⁻¹). Mientras que el de riego por aspersión con enrolladores (5037.88 MP.ha⁻¹) no tuvo diferencia significativa con el testigo (3950.09 MP.ha⁻¹).

Estos resultados concuerdan con el análisis realizado anteriormente sobre la satisfacción de los requerimientos hídricos de los retoños en cada sistema que fue superior en el de

fertirriego localizado por goteo, seguido por el de la máquina de pivote central y por último el de aspersión con enrolladores. Lo cual repercutió sobre el rendimiento agrícola y a través de este sobre el rendimiento de azúcar por hectárea cosechada.

IV. Conclusiones.

1. Las condiciones de explotación de los tres sistemas de riego se caracterizan por: lluvias aprovechables por encima de los requerimientos hídricos en los meses de mayo a septiembre, con déficit hídrico en 10 de los 13 meses del ciclo; donde la máquina de pivote central tiene los menores valores de este indicador y en el sistema de fertirriego localizado por goteo se satisface mejor los requerimiento hídricos del cultivo.
2. El sistema fertirriego localizado por goteo, instalado en la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez, resulta ser el más efectivo desde el punto de vista productivo y económico.
3. El sistema de fertirriego localizado por goteo, presenta la mayor efectividad económica con los valores más elevados de ingresos y rentabilidad tanto en la producción de caña como de azúcar.
4. En la comparación, el sistema de fertirriego localizado por goteo presenta la mayor efectividad productiva, con los rendimientos de caña, más elevados por hectárea y el mayor aprovechamiento hídrico, aunque con calidad del jugo por debajo del testigo en secano en cuanto a: Brix, Pol, Rendimiento base 96% y RPC.

V. Recomendaciones

1. Tener presente las características de las condiciones de explotación de los sistemas de riego así como la evaluación de su efectividad en la toma de decisiones por los directivos de las UBPC y de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.
2. Darle continuidad a este trabajo para probar la efectividad de estos sistemas en otros tipos de suelos, variedades y cepas de la UEB Atención al Productor Antonio Sánchez.

Reseña bibliográfica

- Acosta, P.P. Compendio Azucarero. Habana. Zafras 1977-2000. (2004). Publicación interna del Ministerio de la Industria Azucarera, 86 p., 2004.
- Alomá, J (2005). "Recomendación de fertilización para el área de los centrales que bordean la bahía de Nipe. Resúmenes 40 Conferencia ATAC.
- Álvarez, A. (2004). Las primaveras del año nunca han tenido quince. Revista ATAC, No. 1, p: 1-4,
- Anónimo (2005). Fertilizantes líquidos en la unidad. Fichas de divulgación técnica No 1. Fuentes Fertilizantes.
- BSES. AnnualReport, 72 p. 2005.
- Cabrera, R.; Luís, A.; Hernández, I. (2009) Evapotranspiración de la caña de azúcar en clima semiárido. Caña de Azúcar Vol.1.4 (2) p81-89. Disponible en <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/revistas/científicas/cañadeazucar/canal/402/texto/evapotranspiracion.htm>. Consulta en mayo, 2013
- Clements, H.; Kubota, T. (2004). Internal moisture relations of sugar cane. the selection of a moisture index. Haw. Plant.Rec.45. p17-35.
- Cox, M., Hogarth, M.D., and G. Smith. Cane (2005). Breeding and Improvement. BSES Manual of Cane Growing, Chapter 5, pp: 95-108,
- Crossa, J. (1990). Statistical analyses of multilocation trials. Advances in Agronomy, V 44, pp:55-85., Cuellar, I, Villegas, R. De León, M. y Pérez, H. 2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Editorial PUBLINICA, 127 p. 2002.
- Cuellar, I., M. de León, A. Gómez, D. Piñón, R. Villegas, I. Santana. (2005). Caña de Azúcar, Paradigma de Sostenibilidad. Publinica, Cuba. p. 175.
- Del Solar J.L. (2012). Influencia de la dosis de nitrógeno sobre el rendimiento agrícola e industrial de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrida) en condiciones de

fertirriego por goteo. Tesis en opción al título de ingeniero agrónomo. Universidad de Cienfuegos. CETAS.

Dillewijn, V.C. (1951). Botánica de la caña de azúcar. Ediciones Revolucionarias. Instituto de libro. La Habana.

Dueñas, J.L (2004). Conferencia presentada GeigyS.A.Basilea/ Suiza a la Universidad Central de las Villas- Septiembre de 2004.

Edme, S. J., Miller, J.D., Glaz, B., Tai, P. and Comstock, J. (2005) Genetics contributions to the Florida sugarcane industry across 33 years. *CropScience*, 45: 92-97.

Fernández, H., J. Ruiz y Zuñidla Baró. (2005). Uso de diferentes elementos climáticos (Temperatura y Evaporación) en la determinación del momento del riego en el cultivo de la caña de azúcar. *Revista INICA Serie Riego y Drenaje*.

Fogliata, F. (1971). Relación entre lluvias, producción de caña de azúcar y fertilización nitrogenada. *Revista Industrial Agrícola de Tucumán*. Enero - Junio

Fonseca, J (2007). Riego con pivote central eléctrico. Efecto sobre planta y primer retoño. CAI Gregorio A. Mañalich

Fonseca, J (2008). Necesidades de agua de la caña de azúcar plantada en diferentes épocas de siembra en el occidente de Cuba. . Resumen Tesis Doctoral. INICA

Fonseca, J. y C. Lamelas (2007). Experiencias Régimen de Riego Controlado y Organización del Riego. Empresa Cañera Rubén Martínez Villena (1978 – 1981). 46 pp.

Fonseca, J., L. Beltrán y S. Fonseca (2008). Respuesta al riego en un bloque de producción de la Empresa Cañera “Comandante Manuel Fajardo”. *Ciencia y Técnica en la Agricultura*. 7(2): 19- 37

Gálvez, (2010). Análisis del rendimiento de la caña de azúcar en cuba. Periodo 1950-1990. Universidad de la Habana.

- Gálvez, G. y Sigarroa, A. (2004^a). Los Sistemas de Información en Apoyo a la Producción Sostenible de la Caña de Azúcar. Seminario de las Cátedras Azucareras de las Universidades Cubanas. La Habana, Cuba, Junio 10-11. Publicada en CD, ISBN: 959-16-0257-7, 20 p. 2004.
- Gálvez, G., Ortega, E., Rodés, R. y Sigarroa, A. (2006). Modelación del rendimiento de la caña de azúcar en Cuba. Casos de Estudio. Segundo Seminario de las Cátedras azucareras de las Universidades Cubanas 23 y 24 de junio, 2006. Memorias en Disco Compacto. ISBN: 959-16-0430-0. 2006
- Gálvez, G., Soto, O. y Sigarroa, A. (2004b). La Modelación del rendimiento agrícola en la caña de azúcar. Caso de estudio. Diversificación 2004. Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña. Memorias. Disco Compacto. ISBN: 959-7165-17-1, 2004,a
- García, P. H y Pérez, P. (2007). Optimización del proceso de obtención de variedades de caña de azúcar tolerantes al estrés por sequía y mal drenaje en la región central de Cuba. La Habana. 122h. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. Ministerio del Azúcar. INICA
- García, S y J. Pérez (2004). El riego por goteo: Dos estudios de caso en caña de azúcar. Memorias y Resúmenes del Congreso Internacional de Riego y Drenaje. Cuba - Riego
- González, E. (1976). Guía cañera. Dpto. de Investigaciones Internacionales. CIDA. INRA. La Habana.
- Huggot, E. (1967) Manual para ingenieros azucareros. Ed. Revolución. Cuba. Pp 5-145.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G. And Traore, P.C.S. (2004). Experiments and Data for Model Applications. Documento interno. Universidad de la Florida, 4 p.
- King, J.; Mungomery, R. W.; Hughes, C. G. (1968). Manual para ver cultivo de la caña de azúcar. Serie australiana sobre agricultura y ganadería. Edición Revolucionaria. Instituto del libro. La Habana.

- Lamelas, C y R. Graña (2006). Desarrollo de un bloque experimental regado por aspersión de alta carga. Información INICA. Serie Riego y Drenaje. II Semestre: 51 - 53
- Lamelas, C., María T. Oviedo y M. Hernández (2004). El uso del Evaporímetro Clase "A" en el riego de la caña de azúcar en dos empresas de la provincia de Matanzas. Ciencia y Técnica de la Agricultura. Riego y Drenaje. 8(1): 37-52
- Lawes, R.A. and Lawn, R.J. (2005). Applications of industry information in sugarcane production systems. Field Crops Research 92: 353-363, 2005.
- Lima, J. R. (2004). Caña de azúcar: captación conservación y manejo sostenible del agua y la humedad del suelo. Revista INICA. Serie caña de azúcar. Siglo XXI. Suplemento Especial. No. 1 Nov.
- Llerena, E. y I. Cuellar. (2006). Efecto del riego y la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos de la cosecha de planta. Información INICA. Serie Riego y Drenaje. I Semestre: 25 – 32
- Llerena, Enrique, Ramón González, Joaquín Ruiz y Humberto Fernández. (2005). Comportamiento de tres variedades de caña de azúcar en riego y secano. Revista ATAC No 4.
- Llerena, Enrique, Ramón González, Joaquín Ruiz, Rodolfo Acosta y Antonio Menéndez. (2004). Efecto de las precipitaciones sobre la respuesta de la caña de azúcar al riego. Revista INICA Serie Riego y Drenaje.
- Martínez L. (2001) Manual de operación y mantención de equipos de riegos presurizados. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile.
- Méndez, Franky. (2006). Determinación del área follar en plantas de caña de azúcar variedad c 323-68. Vol. 11 N° 2 CAÑA DE AZÚCAR.
- Meneses, A.; Vidal, L.; Barreto, B.; Alonso, N. y Pacheco, J. (2010). Manejo sostenible del regadío en caña de azúcar. Universidad Central de Las Villas.

- MINAZ, (2006b). Manual técnico para el cultivo de la caña de azúcar. Folleto 22p.
- MINAZ, (2012). Fundamentos técnico – prácticos del cultivo de la caña de azúcar. Publicaciones azucareras. C. Habana. Cuba. 76 p.
- MINAZ. (2000). Programa de riego y drenaje y viales. La Habana. Cuba: 31p. 2000.
- MINAZ. (2006). Instrucción complementaria No 01-2006.
- Naidu, M.K. Venkataramana, S.; Gururaja, P.N. (1983). Varietal variation in stomatal conductance and diffusion resistance during moisture stress and recovery in sugar cane. . International Society of sugar cane technologist. Proceeding XVIII congress. C. Havana Vol. I p.
- INICA (2004). Fundamentos tecnológicos y económicos para la extensión del riego por goteo subterráneo en el cultivo de la caña de azúcar. Informe final, proyecto 00101168. MINAZ. 33 pp
- Pacheco, J.; Alonso, N.; Gutiérrez, A. (2006). A study of the sugar cane evapotranspiration in Cuba. . International Society of sugar cane technologist. Proceeding XVIII congress. C. Havana Vol. I p 380- 387.
- Pardo, J y Y. Lines (1979). “Estudio sobre los niveles y el fraccionamiento en la fertilización nitrogenada en caña de azúcar”. Memorias 42 Conferencia ATAC, 3: 56 – 70.
- Pereira N. Pedro, Pedro Mago N. y Luís Rodríguez. (2004). Uso de parámetros meteorológicos para el control del riego en caña de azúcar durante el periodo de crecimiento. Vol. 04 (2): p.125-141 caña de azúcar.
- Pérez, E y R. Cutiño (2007). Algunos resultados sobre fertilización nitrogenada de la caña de azúcar en cosechas de ciclo largo. Resúmenes 40 Conferencia ATAC, p.15.
- Pérez, J. R.; Cuellar, I. A.; De león, M. E.; Santana, M.; Fonseca J. R.; Pérez, M. (2005). Caña de Azúcar: Captación, conservación y manejo sostenible del agua y la

humedad del suelo. Serie caña de Azúcar Siglo XXI. Suplemento especial de la Revista Cuba & Caña. Noviembre, 2004, 43 pp.

Pérez, S.; Dora. (2004). Presentan modelo para evaluar la sequía. Juventud Rebelde (CU), abril 8, 8.

Pinna. J.; Valdivia, S.; Tello, H. (1983). Yield estimation of sugar cane from evapotranspiration data. . International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress.C. Havana Vol.I p370- 379.

PMPA (Programa Mundial de Alimentos, IPF (Instituto de Planificación Física). (2004). Análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Cuba. 2004 Proyecto Vam Cuba. Publicación de la Representación del PMA en Cuba: Año 38. Sept. 2004.9 52-68.

Reinoso, A. (1862). Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. Publicaciones azucareras. La Habana. 1998.

Rodríguez, J. I. (2008). Breve análisis sobre la problemática de las zafras azucareras en Cuba. Publicación Interna del Ministerio del Azúcar., 25 p + Anexos, 1989.

Ruiz, Joaquín, N. L. Latifov, E. Llerena y R. González. (2006). Algunos aspectos sobre el desarrollo del sistema radicular de la caña de azúcar en dependencia del abastecimiento hídrico y nutricional. Revista Información técnica No 1.

Ruiz, Joaquín, N. L. Latifov, E. Llerena y R. González. (2004). Régimen de riego de la caña de azúcar relacionado con la época de siembra y cosecha. Revista INICA Serie Riego y Drenaje.

Ruskin R (2002). El riego por goteo subterráneo Disponible en <http://www.geoflow.com/agriculture/yields.htm>.

Saavedra, G (2007). Fertirriego en 12 variedades de papa cultivadas en dos Empresas de CV Habaneras en máquinas de riego de pivote central eléctricas. Memorias y Resúmenes del Congreso Internacional de Riego y Drenaje. Cuba – Riego.

- Saavedra, G (2006). Fertilización con Urea y KCL en toronja Marsh sobre arenosol en la Empresa de cítricos Sandino. Memorias y Resúmenes del Congreso Internacional de Riego y Drenaje. Cuba – Riego.
- Sáens, M. A. (2004). Determinación del periodo de crecimiento de la caña de azúcar en el CAI José Martí. CIEGET. Pinar del Rio. Vol. 6. No.2 Abril- junio
- Sagardoy, L. (1988). La sostenibilidad de la gestión de los sistemas de riego y el proceso de transferencia a los usuarios. 1er Taller Internacional de Riego y Drenaje. Ciudad de La Habana. Cuba: 17, 1998.
- Shaw, M. y R. Innes (1965). The growth yield of annual cane planted at different season an the effects of nitrogen and irrigation treatments. Proc. of the ISSCT.Puerto Rico: 273-299.
- Singh, P. and G. Singh (1971).Soil moisture regimes and quality of sugar cane. . Proc. ofthe ISSCT. New Orleans: 853-858.
- Soto, O. 2004. Estudio y modelación de algunas variables que influyen en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Tesis de Diploma para obtener el título de Licenciado en Ciencias Biológicas, Facultad de Biología. Universidad de la Habana, 43 p + anexos.
- Srinivasan, T.R. (1983) Sugar cane recovery in relation toage, climate and crop indices. . International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 327-334.
- Sulroca, F. (2006). Las transformaciones en la agroindustria de la caña de azúcar y sus perspectivas para el nuevo siglo. Presentado al Segundo Seminario de las Cátedras Azucareras de las Universidades Cubanas. Editado en Disco Compacto, ISBN: 959-16-0430-0. Universidad de la Habana.
- Torralba V. (2006). Riego localizado, conceptos, peculiaridades agronómicas y datos básicos, diseño agronómico e hidráulico, IIRD, MINAG, Ciudad de la Habana. 1999.

- Torres, J. C.; Pérez, E.; Ortega, R. (1984). Manual de fundamentos de Agronomía. Facultad de Agronomía. MES. ISCAH. La Habana.
- Traba, J.; González, R., Díaz R. y Muñoz, I. (2012). Proyecto de explotación de las máquinas de riego Agrocaja en caña de azúcar. Folleto 4pp. MINAG. AZCUBA.
- Uner, N. (2007). Aspectos técnicos y agronómicos en proyectos de riego por goteo en caña de azúcar. Experiencias, ideas y visión. Conferencia impartida en Ciego de Ávila.
- Villegas, R.I. (2005). Quince años de investigaciones de la fertilización de la caña de azúcar en Cuba. II Fósforo. Resúmenes 43 Conferencia ATAC.
- Viqueira, L.; Gómez, L.; Rodríguez.C. (1983). Effect of water defficiency on two sugar cane varieties. . International Society of sugar cane tecnologist. Proceiding XVIII congress.C. Havana Vol.I p 394- 408.
- Wagner, Manuel. Lely de Guenni, Gerardo Medina y Manuel Mujica. (1986). Evaluación de un modelo de riego aplicado en plantilla de Caña de azúcar (*saccharum* sp, en condiciones de suelo mollisol. Vol. 04 (2): p143-167 Caña de azúcar.