



UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS
“JOSÉ MARTÍ PÉREZ”
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



TRABAJO DE DIPLOMA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE DESCARGA POR SIFÓN, COMO INNOVACIÓN LOCAL PARA EL RIEGO CON CAUDAL INTERMITENTE

AUTOR: FIDEL FERNANDO BETANCOURT HERNÁNDEZ

TUTOR: M.Sc. Ing. RUBÉN ANTONIO VIERA MARÍN

SANCTI SPÍRITUS

CURSO 2013 - 2014



*"La agricultura es la única fuente constante, cierta y
enteramente pura de riqueza."*

José Martí Pérez.

DEDICATORIA

- ❖ *A mis dos principitos Fernandito y Raulito, por existir y llenar mi vida de felicidad.*
- ❖ *A mi esposa Tania por su amor y constante apoyo en todo momento.*
- ❖ *A mis padres Isabel y Fernando por mostrarme siempre el mejor camino, por apoyarme en todos mis proyectos.*
- ❖ *A mis abuelos María y Juan por ser dos seres especiales en mi vida, por quererme y preocuparse constantemente por mí.*
- ❖ *A mi tío Nolis por ser otro padre para mí.*
- ❖ *A mi tía Paula, nuestra “Cusita” por su incondicional colaboración en todos los momentos y su cariño.*
- ❖ *A toda mi familia y verdaderos amigos.*

Con infinito afecto... Fidel

AGRADECIMIENTOS

- ❖ *A mis padres Isabel y Fernando por ser los motores impulsores de todas mis metas, especialmente por ayudarme en este reto profesional, por la consagración de ambos y sus desvelos por mí.*
- ❖ *A mi querida esposa Tania por sus sacrificios y sus preocupaciones durante este trayecto, por su amor inmenso que me llenó de fuerzas para seguir adelante.*
- ❖ *A mis abuelos María y Juan por estar presentes siempre y su constante preocupación por el logro de esta meta.*
- ❖ *A mi suegro Raúl por su colaboración en la realización de este proyecto.*
- ❖ *A mi tutor MSc. Ing. Rubén Antonio Viera Marín por su decisión de ayudarme, por sus ideas, por su paciencia y guía en la investigación.*
- ❖ *A mí cuñada Yadira por su paciencia, sus ideas y sus ayudas oportunas.*
- ❖ *Al amigo Rodrigo por su incondicional apoyo en todos los momentos, su ayuda fue decisiva.*

- ❖ *A todos mis profesores en especial al MSc. Ing. Manuel Rodríguez González que de una forma u otra contribuyeron a mi formación profesional.*
- ❖ *A todos mi compañeros del grupo por las colaboraciones durante los años de estudio.*

A todas las personas que de una forma u otra aportaron su granito de arena en este trayecto. ¡A todos infinitas gracias!

SINTESIS

Se presentan los resultados investigativos correspondientes al diseño y construcción del Tanque de Descarga por Sifón (TDS), como innovación local. El proceso evaluativo se realiza en la finca “La Arboleda”, ubicada en el kilómetro 10 de la carretera de Sancti Spiritus. Con el objetivo de desarrollar una tecnología que nos permita realizar intermitencias en el riego superficial se propone representar un diseño de tres tomas o extremos sumergidos en el líquido, los cuales se encuentran a 0,06, 0,21 y 0,41 m de la base del dispositivo, se realizarán mediciones con 20 frecuencias en cada caso, tomándose estos como réplicas del diseño. Dentro de los parámetros hidrométricos a medir están: Tiempo de llenado, vaciado, ciclo completo. El volumen de salida, volumen muerto y volumen de trabajo, así como los caudales de funcionamiento. Los resultados demostraron que en el TDS existen diferencia entre las variantes con respecto a los caudales de funcionamiento, para los caudales máximos de entrada está en el rango de 1,17 a 1,38 L/s. con respecto al tiempo de llenado la Variante I es la de mayor estabilidad, alcanzando tiempo de 4:35 minutos. Los tiempos de vaciado van desde 2:25,5 hasta 00:38,1 minutos. Los volúmenes de salida en cada una de las variables varían desde 306,990 hasta 86,966 litros de agua. La descarga a tan solo unos segundos alcanza su punto máximo sobre los 0,003 m³/s. Se puede apreciar que el costo es bajo y de fácil adquisición, no sobre pasando un costo de 382,12 pesos.

SYNTHESIS

The results of the structural Design Siphon Download s a local discovery are presented. The evaluation process is developed in: "The Grove" Farm, situated in Kilometer 10, Sancti Spíritus Road. With the objective of developing a technology that permits to make intervals in the superficial drainage. A design of three submerged extremes is supposed to be represented in the liquid, which are at 0, 06, 0, 21 y 0, 41 meters from the bases of the devise. Measurements will be made of 20 frequencies in each case, which are made as repartees of the design. Among the hydrometric parameters to measure are: filling time, unpackaging, complete cycle. The output volume, the dead volume and working volume, as well as the functioning volumes. The results demonstrated that in the Design Siphon Download there are differences in respect to the functioning volumes, for which the top of entries are at the range of 1,17 a 1,38 L/s in respect to the filling time. Variant I is that of the major stability, reaching a time of 4:35 minutes. The unpackaging variants go from 2:25, 5 to 00:38, 1 minute. The output volumes of one of the variables vary from 306,990 to 86,966 liters of water. The download at only a few seconds, reaches a maximum point of over 0,003 m³/s. It can be appreciated that the cost is low and of an easy acquisition, not over a cost of 382, 12 pesos.

INDICE

Contenido	<i>Pág</i>
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 El riego en el mundo	5
2.2 Riego en Cuba	7
2.3 Sistemas de riego	8
2.4 Riego superficial o gravedad	10
2.5 Riego intermitente o de caudal discontinuo	14
2.5.1 Ventajas y desventajas de los sistemas intermitentes	17
2.5.2 Características del sifón como sistema de riego intermitente	18
2.5.3 Aplicación de los sifones	19
3 MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1 Propuesta del diseño para el experimento	20
3.2 Diseño y construcción del Tanque de Descarga por Sifón (TDS)	21
3.2.1 Estudio hidrodinámico del TDS	22
3.3 Estadística	24
3.4 Valoración económica	24
4 RESULTADO Y DISCUSIÓN	25
4.1 Diseño del TDS	25
4.2 Estudio hidrodinámico del TDS	25
4.3 Determinación de la volumetría y caudales de entrega del TDS	32
4.3.1 Caudales de entrega con respecto al tiempo y altura	34
4.4 Valoraciones estadísticas de las variables	39
4.5 Valoración Económica	41
5 CONCLUSIONES	42
6 RECOMENDACIONES	43
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	

1. INTRODUCCIÓN

Para casi todas las regiones del mundo, aumentar la productividad del agua usada en la agricultura, en vez de adjudicar más agua, constituye el mayor potencial para mejorar la seguridad alimenticia y reducir la pobreza al costo ambiental más bajo. El alto grado con el que el agua condiciona la producción agrícola, así como su capacidad para alimentar a sus poblaciones, lleva a la necesidad de estudiar el problema de la productividad del agua. Debido a que la agricultura por irrigación consume en la actualidad la mayor parte del suministro de agua de buena calidad (en una cantidad estimada entre el 60 y el 80 por ciento), la búsqueda de nuevas formas de producir más alimentos con menos cantidad de agua ofrece una respuesta al problema de la escasez del agua. Según criterios de autores como González (2010).

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos, cuando se establece en un cultivo no solo se persigue la supervivencia de este, si no que se pretende que propicie rendimientos elevados (Santana, 2006). Este autor además plantea que el riego se hace necesario entonces para mantener el agua del suelo a niveles óptimos en la zona radical de las plantas. Este medio aunque es utilizado solo en un 20% de la tierra cultivada garantiza el 80% de la producción mundial.

El arte de regar es antiquísimo, en el transcurso de la historia, la civilización ha sufrido la influencia de la evolución del regadío. Civilizaciones enteras han florecido y se han extinguido sobre tierras regadas. Existen abundantes documentos que dan fe de la antigüedad del riego según Camacho (2005) citado por Santana (2007). La mayor parte de los expertos en cuestiones de riego están convencidos de la duración indefinida de tales culturas, relacionadas con el uso racional del agua. Por el contrario, otros afirman que la civilización basada en una agricultura de regadío está destinada a decaer más tarde o más temprano, debido a que así ha ocurrido a otras anteriores en el tiempo. La perpetuidad de los pueblos civilizados depende de muchos factores, entre los cuales resulta de vital

Importancia la existencia de una agricultura de rentabilidad permanente. En el mundo, cada vez toma mayor fuerza la idea de usar en forma racional y adecuada el recurso

hídrico. Donde se usa en grandes cantidades, se produce también grandes pérdidas, sobre todo en la utilización de métodos de riego superficial donde el escurrimiento y la percolación profunda son generalmente significativos (Pérez y Cid, 2008).

En su gran porción los productores utilizan el riego superficial como métodos principal, el cual es considerado por Santana (2007), como un evento agresivo para el suelo debido a la pendiente y características del suelo. El método de riego superficial con sus técnicas es el más extendido en el mundo por su bajo costo de inversión, fácil operatividad y bajo costo de energía.

Según Camejo (2013) hoy uno de los problemas que más agobia a la humanidad es la falta de energía, alimentos y agua, ya no sólo para la producción agrícola, sino que se hace escasa hasta para el consumo humano. Ello ha motivado, que se generen nuevas tecnologías de riego, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso del agua y un menor consumo energético.

El desarrollo de tecnologías avanzadas como el riego intermitente a finales de la década de los años 70 en los Estados Unidos de América y su generalización en el mundo con resultados satisfactorios, ha permitido demostrar las posibilidades técnico económicas del riego superficial, teniéndose como elementos básicos el diseño y manejo adecuado de los sistemas (Narvate y Huachos, 2009).

En nuestro país, los problemas que afectan al riego por gravedad son la baja calidad constructiva de los sistemas, carencia de obras de medición y control indispensables para la distribución del agua, falta de nivelación de los suelos que ocasiona una mala distribución en la superficie de riego, falta de mantenimiento, deficiencia en el diseño y operación de los sistemas y carencia de un programa para la modernización del riego. Todo esto ha conllevado a que la eficiencia de aplicación y distribución del agua en el surco sea muy baja. Es evidente que ante este hecho se tenga que contemplar la posibilidad de introducir cambios que impliquen un mejoramiento de este método de riego (Brown *et al.* 1997); (Brown *et al.* 1999). Según este autor es posible lograr un mejoramiento significativo en el funcionamiento de los sistemas de riego mediante la adopción de tecnologías avanzadas como los sistemas de riego superficiales automatizados.

Las condiciones actuales de la economía cubana imponen la necesidad de encontrar medidas que conduzcan al incremento de la eficiencia en los sistemas de riego por gravedad. A pesar de ser estos sistemas los más utilizados en el mundo, su eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución son comúnmente muy bajas, presenta ineficiencias por percolación profunda en el primer tercio del surco y por escurrimiento superficial al final del surco (Brown *et al.* 2003). La solución de esta problemática está en la modernización del riego superficial

Una vía eficiente para el mejoramiento del riego por gravedad es sin dudas la aplicación del riego intermitente. Este nuevo método de riego introducido a finales de la década de los años setenta por investigadores de la Universidad de Utah, fue definido como una revolución en el riego superficial (Bishop, 1981). Es una tecnología emergente que puede alcanzar alta eficiencia de aplicación en comparación con el riego continuo convencional (Pacheco *et al.* 1995); (Abreu, 1998) y bajo ciertas condiciones reduce el tiempo de aplicación; el volumen de agua requerido para el avance del flujo a través de la superficie del suelo y mejora la uniformidad de distribución del agua de riego.

Según Santana (2007) para hacer la entrega intermitente del gasto se han diseñado varios dispositivos que incluyen válvulas de mariposa gobernadas por mecanismos programados utilizando fuentes de energía eléctrica procedentes de la línea comunitaria, de paneles fotovoltaicos o baterías de acumulador. Este argumenta que (García, 1995) diseñó un equipo denominado Tanque de Descarga por Fondo (TDF) que por principio de flotación realiza las intermitencias y deja abierto el tema a la posibilidad de innovación local. Una década después (Santana, 2007) presentó un diseño del TDF pero desde la dimensión de la innovación local, con un menor costo y de fácil manejo; pero aún está sujeto a diversas polémicas ya que su construcción depende del uso de algunas piezas de los sistemas de evacuación de aguas residuales en la vivienda.

Por lo que se propone diseñar y construir un elemento estructural nombrado Tanque de Descarga por Sifón (TDS) que permita el control del flujo para obtener caudales intermitentes basados en el diáfragma, modelo de García (1995), los principios de sifón

autocebantes y la teoría del “Vaso de Tantaló” utilizado en los tratados de Física general.

Problema Científico

Se necesita diseñar y construir un elemento estructural con descarga por sifón que permita el control del flujo para el riego con caudal intermitente a nivel parcelario, en el municipio Sancti Spíritus.

Hipótesis

Si se determinan los parámetros hidrotécnicos del Tanque de Descarga por Sifón (TDS) desarrollado con tecnología local como elemento estructural de riego para el control del flujo, entonces podremos conocer cuál es la dinámica del funcionamiento hidráulico de este elemento para el riego con caudal intermitente a nivel parcelario, en el municipio Sancti Spíritus.

Objetivo General:

Diseñar el Tanque de Descarga por Sifón como elemento estructural para el riego con caudal intermitente a nivel parcelario en el municipio Sancti Spíritus.

Objetivos Específicos:

- Determinar el diseño y construcción de un Tanque de Descarga por Sifón (TDS) como elemento estructural para el riego con caudal intermitente a nivel parcelario como producto de la innovación local.
- Caracterizar parámetros de funcionamiento hidrotécnicos del Tanque de Descarga por Sifón (TDS).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El riego en el mundo.

La importancia incuestionable que tiene el agua para la vida en la tierra es demostrada por Pérez (2002) al reafirmar que la vida en este planeta tuvo su origen en el agua, la cual permitió junto con el dióxido de carbono y algunos nutrientes esenciales la formación de células. Estas lograron producir su propio alimento a partir de la radiación solar; lo que permite posteriormente el proceso evolutivo constante de estos pequeños organismos hacia otras formas de vida más evolucionadas. El agua forma parte de todos los ecosistemas, de su existencia y conservación depende la mayor parte de los recursos naturales, así como todas las actividades humanas. A partir de estos aspectos esenciales (Cabanillas, 2000) define que el manejo y conservación de este recurso es el tema central de la gestión ambiental.

En la actualidad los diferentes gobiernos, polos científicos y organizaciones no gubernamentales del mundo coinciden en que el agua para la producción de alimentos es de vital importancia, por lo que en el planeta se abonan esfuerzos para lograr un uso eficiente de la misma, autores como: Machev (1981); Kirilova y Pavón (1986); Hernández (2006) y FAO (2004) coinciden en criterios con respecto a este tema.

Según Micucci *et al.*, (2006) el agua fue considerada desde siempre, como el factor que más incide en la producción de alimentos en el mundo. El desafío constante es conocer cómo el clima, el suelo, la genética vegetal y el manejo cultural pueden ser combinados para aumentar la eficiencia del uso del agua por los cultivos. La evaluación cuantitativa del agua del suelo constituye entonces una herramienta fundamental para comprender tales interacciones y establecer pautas de manejo que optimicen su uso en los sistemas de producción.

Para nadie es un secreto que la agricultura con gran diferencia es la mayor consumidora del preciado líquido el cual conocemos como agua, (FAO, 2004), se afirma además que las extracciones con fines agrícolas representan el 69% de todas las realizadas en el mundo entero, siendo mayor en los países en desarrollo en las que se supera el 80%. Se continúa explicando por dicha cita que un acceso fiable de agua suficiente aumenta los rendimientos agrícolas, proporcionando más alimentos e

ingresos más altos en las zonas rurales donde viven las tres cuartas partes de la población hambrienta del mundo. No es de extrañar que los países con mejor acceso al agua suelen ser también los que presentan niveles más bajos de sub-nutrición. Si el agua es un elemento esencial de la seguridad alimentaria, su carencia puede ser una causa principal de hambrunas y sub-nutrición, especialmente en las zonas rurales expuestas a la inseguridad alimentaria, donde la población depende de la agricultura local para obtener alimentos como ingresos.

El riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. En sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos: proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse; asegurar la cosecha contra sequías de corta duración; refrigerar el suelo a la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales en favor del desarrollo vegetal; disolver sales contenidas en el suelo; reducir la probabilidad de formación de drenaje naturales y dar tempero a la tierra. El objetivo que se persigue con el riego es aplicar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua en el momento adecuado y en la cantidad necesaria para lograr un crecimiento óptimo (Morábito, 2005).

Desde tiempos remotos existen abundantes documentos que dan fe de la utilización del agua para el riego, uno de ellos es el Génesis donde se cita a Amraphael, rey de la primera dinastía de Babilonia que promulgó el código de Hammrabi, de cuyo contenido se deduce que la existencia de la gente dependía del regadío (Thorne y Peterson, 1963); (Irsaelsen y Hansen, 1965); (Reca, 2005); (Camacho, 2005); (Alcaide, 2005).

Según Camejo (1997) el nuevo reto para los hombres ligados al tema en el mundo es mejorar constantemente la relación agua aplicada producto obtenido conservando el suelo y el agua.

González (2008) plantea que si existe un suministro de agua suficiente y fiable, el riego puede aumentar los rendimientos de la mayoría de los cultivos entre un 100 y un 400 por ciento. Aunque sólo el 17% de las tierras cultivables del mundo se riegan, siendo estas responsables del 40 por ciento de los alimentos mundiales. Además de mayores

rendimientos, el riego aumenta los ingresos, reduce el hambre y la pobreza. Los datos muestran que cuando se dispone ampliamente de riego, la sub-nutrición y la pobreza son menos frecuentes.

Por otra parte Camejo (2013) plantea que en el mundo se cultivan alrededor de 1600 millones de hectáreas y cerca del 60% se encuentra en zonas áridas o semi áridas, donde el regadío puede aumentar de dos a tres veces la producción, sin embargo, se estima que alrededor del 20% de las áreas cultivadas son de regadío, donde se utiliza $1,5 \times 10^{12}$ m³ de agua al año, y donde se produce más del 50% de la producción agrícola mundial.

Según Catalán *et al.*, (2009) La crisis del agua observada en los últimos años y la planeación deficiente en el uso de este recurso urgen al establecimiento de estrategias para lograr mayor control en la administración de los recursos hídricos. Entre estas estrategias destaca la tecnificación del riego que implica la incorporación de técnicas y métodos más racionales y cuantitativos para mejorar la eficiencia y productividad de los sistemas de riego.

2.2. Riego en Cuba.

Según Kirilova y Pavón (1986) la historia del riego en Cuba se conoce desde el siglo XVIII cuando las aguas del río Mayabeque regaron el Valle de San Julián de los Güines en la provincia de La Habana actual Mayabeque .Este mismo autor expresa además que en 1884 se constituyó la comunidad de regantes de Güines que a pesar de las halagüeñas producciones obtenidas por las bondades del riego, no tuvo homólogas. Se plantea por estos autores que el primer intento oficial de riego fue en el año 1909 cuando se creó la comisión de irrigación que efectuaría estudios sobre el tema, solo en la provincia de Pinar del Río, en 1932 la secretaria de agricultura crea la dirección de negocios del agua y el riego, limitadas a consultas de particulares, en 1937 se crea la comisión consultiva del riego que se encargaría de estudiar los ríos más importantes de la Isla para el riego, en 1941 se someten a consideración los trece primeros proyectos de riego para igual número de ríos del país, de los cuales solo vio luz el del río Buey en Oriente, pero al final la obra no se construyó, pues el riego siempre fue una promesa incumplida de los gobiernos anteriores a 1959.

En 1959 se comenzó a trabajar en Cuba en la construcción de obras hidráulicas, pero no es hasta 1962 que con la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) se encauza y comienza a desarrollar el trabajo hidráulico (Kirilova y Pavón, 1986).

A finales del siglo XX actores como Pacheco *et al.*, (1996) plantean que en Cuba se regaban 1,1 millones de hectáreas (ha) de cultivos del área total agrícola estimada en 6,5 millones de ha, de las cuales 5,1 millones se consideran aptas para el riego.

2.3. Sistemas de riego.

Un sistema de riego puede definirse como el conjunto de obras para captar, conducir, almacenar y distribuir el agua a los suelos, para compensar el déficit de humedad producto de un desbalance entre las entradas de agua por precipitación y las salidas por evapotranspiración. También se conceptualiza como un sistema técnico-social integral que engloba aspectos de ingeniería, agronómicos, sociales, económicos, ambientales, culturales y políticos; que son determinantes en el momento de la planificación, el diseño, la ejecución y administración del sistema de riego. (Universidad Nacional de Loja, 2011)

Para Catalán *et al.*, (2009) el diseño de un sistema de riego consiste en seleccionar, mediante un análisis hidráulico, las variables que determinan su funcionamiento tales como el gasto, longitud, pendiente, tiempo de aplicación, etc., con el propósito de lograr máxima eficiencia y productividad en el uso del agua. Sin embargo, debido a la complejidad de este análisis, los sistemas rara vez se diseñan, sólo se construyen y operan con base a la experiencia de los usuarios. Continúan explicando que el mejoramiento del riego parcelario a través del diseño no sólo requiere del refinamiento de técnicas sino de la transferencia y adopción de estas técnicas por el usuario. En este sentido expresa el autor que los avances tecnológicos más significativos se han logrado en el refinamiento de las técnicas, con el desarrollo de modelos de simulación para predecir y analizar el funcionamiento de los sistemas de riego.

Por otra parte los rusos Aidarov, Golovanov y Mamaév citados por Cisneros (2003) en documentos anteriores plantean que el sistema de riego, es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de

tierras mediante el riego y los métodos de riego pueden ser considerados como la forma en que el riego es aplicado al suelo para el desarrollo de los cultivos. Revisando la literatura en la temática del riego, encontramos que este autor expone que los métodos de riego pueden ser considerados como la forma en que el riego es aplicado al suelo para el desarrollo de los cultivos.

Estos pueden ser:

Riego superficial: El agua se distribuye por la superficie del campo por gravedad, esto es, a través de surcos, melgas, cuadros, terrazas, etc.

Riego por aspersión: El agua se distribuye en forma de lluvia artificial a través de equipo especial de rociado.

Riego por goteo: El agua se suministra en forma de gotas directamente a la zona radicular de cada planta.

Riego subterráneo: El humedecimiento del suelo se realiza por medio de humidificadores colocados debajo de la planta, aproximadamente a 40 - 45 cm. También puede regarse en forma subterránea, a través del control de niveles freáticos, donde se mantiene la humedad del terreno en niveles deseados.

Según Pacheco *et al.*, (2006) el cual coincidió en criterio con lo planteado por los autores anteriormente citados que un sistema de riego es un conjunto de construcciones, aparatos y obras especiales, como son tomas de agua, cámaras desarenadoras, canales, túneles, sifones invertidos, tuberías, estaciones de bombeos, etc; los cuales aseguran la conducción y la distribución de las aguas desde la fuente de abastecimiento hasta las áreas regadas en cualquier momento y en cantidades necesarias, para convertirlas en humedad del suelo. Este conjunto también comprende todas las construcciones y obras que aseguran la evacuación de las aguas en exceso y las actividades de la explotación.

El riego es un factor esencial en el desarrollo de los cultivos agrícolas, sobre todo en las regiones donde la lluvia no cubre sus necesidades hídricas. El riego no es más que la aplicación de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la

humedad necesaria para el desarrollo. En sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno como planteó (Israelse y Hansen, 1965).

Según Cisneros (2003) cuando se habla del riego en general, se dice que el problema principal por plantearse es el cuánto, cuándo y cómo regar. El cuánto plantea el problema de la cantidad de agua que hay que aplicar a un suelo en el que se va establecer o se tiene establecido algún cultivo. El cuándo plantea el problema de la oportunidad con que se debe aplicar esa cantidad de agua. El cómo plantea el problema de la forma en que esa cantidad de agua deba aplicarse al suelo en la oportunidad que definió el cuándo. Todo esto con el fin de hacer un aprovechamiento integral del agua para que sea aplicada en oportunidad y con la mayor eficiencia posible, obteniendo el máximo de los rendimientos en la producción.

Un riego de superficie que opere de manera idónea debe tener un equilibrio entre los procesos de avance e infiltración para que la lámina infiltrada en cada punto del surco sea similar, todas las plantas de la parcela dispongan de aproximadamente la misma cantidad de agua, y esta cantidad de agua coincida con las necesidades de las plantas. Obviamente, Camejo (2000) plantea que la aplicación de métodos tradicionales de gravedad con diseños y ejecución deficiente, conllevan a una pobre utilización de los recursos humanos y naturales.

El riego agrícola demanda una fuerte inversión económica, un entendimiento profundo de las técnicas agrícolas y una dedicación laboral y administrativa constante de parte del agricultor. Además de esto, la decisión inicial de implementar un sistema de riego depende de un análisis de varios factores económicos, logísticos, ecológicos y también sociales (Rosales *et al.* 2006).

2.4. Riego superficial o gravedad.

El intelecto humano evoluciona a la par del desarrollo científico mundial con relación al riego, los primeros sistemas que se utilizaron en el mundo para llevar el agua a la planta fueron los superficiales, desde la época del gran Egipto y la China de los canjilones hidráulicos. Varios autores citan un comienzo de la agricultura bajo riego en las civilizaciones que se asentaron en el valle del Tigris - Éufrates. Al presente, durante 9000 años, pocas mejoras tecnológicas fueron introducidas para aumentar la eficiencia

del sistema hasta el comienzo de la década de los 80 que empieza a difundirse esta técnica (Roque, 2009).

Los sistemas de riego por superficie (comúnmente llamados por gravedad o por surcos) son los sistemas de riego más antiguos de la historia de la agricultura. Estos sistemas incluyen el desvío de ríos por medio de canales, el riego por entre los surcos mediante el bombeo de agua, y otros procedimientos que logran una inundación superficial para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos (Rosales *et al.* 2006).

Es el método de riego más antiguo que se conoce y, además, el más extendido en el mundo. En los Estados Unidos (EE.UU), por citar un ejemplo, las 2/3 partes del área bajo riego se hace utilizando este método. La tendencia mundial es a incrementar su uso por la gran cantidad de ventajas que presenta, sobre todo para los países con menor desarrollo y recursos disponibles. Este método abarca todas las técnicas en que el agua se aplica sobre la superficie del terreno en forma de escurrimiento y el suelo actúa como elemento de conducción. Independientemente de la técnica seleccionada dentro del método de riego superficial, la característica del movimiento del agua es siempre la misma.

El agua es aplicada con una intensidad casi constante desde el inicio al fin del área que va a ser regada. Esta agua es distribuida en el ancho del terreno, si está nivelado, o a lo largo del área en dependencia de la pendiente. La profundidad del agua es muy pequeña en relación con el ancho y la circulación es en forma de una lámina sobre el terreno. Esta lámina en su sección aguas abajo se llama frente de agua y al movimiento se llama avance del frente de agua (García y Fontova, 1998).

La mayoría de las técnicas que conforman este método son fruto de la experiencia local y de procesos de ensayo. El riego superficial fue el primer sistema en ser aplicado en el mundo, pero el último en ser analizado de forma completa. Se caracteriza porque el agua aplicada corre libremente por efecto de la gravedad sobre la superficie del terreno hasta alcanzar el extremo más bajo de la parcela (Brown, 2006). La característica principal del riego superficial es que el agua se distribuye en el campo por gravedad, de modo que el caudal de riego disminuye a lo largo del campo debido a la infiltración del terreno. En la práctica ocurre con mucha frecuencia que el suministro de agua en el

surco no se suspende en el momento que el frente de avance alcanza el extremo final del surco, si no cierto tiempo después.

Según Delgadillo (2000), el riego superficial, como su nombre indica, hace alusión al agua que fluye sobre la superficie del terreno gracias a la pendiente (topografía) por efecto de la gravedad. Bajo este método, el agua se aplica al terreno en su parte más alta y fluye hacia los puntos más bajos, disminuye en cantidad o volumen a medida que se infiltra en el suelo. Este tipo de riego se da a través de estructuras establecidas en la parcela como son surcos, melgas, camas meloneras (melón, sandía, papaya, calabaza), cuadros, surcos alternos.

La característica principal del riego de superficie es que el agua se distribuye en el campo por gravedad, de modo que el caudal de riego disminuye a lo largo del campo debido a la infiltración del terreno. Esta característica, bastante obvia, es la causa por la que el riego de superficie se mantiene en la actualidad a pesar de que en las últimas décadas se han desarrollado otros sistemas de riego alternativos, como la aspersión y el goteo (González, 2008). El riego tradicional o convencional por surcos, suministra el agua en forma continua. La misma es entregada en la cabecera del surco y al cabo de varias horas alcanza el pie o fin del mismo (Ecoriego, 2008).

Un aspecto clave del análisis hidráulico del riego por gravedad es la determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Las propiedades y características físicas del suelo que determinan este proceso varían en tiempo y espacio, lo cual complica su medición precisa e induce un considerable nivel de incertidumbre a las tareas de diseñar y operar adecuadamente el riego por gravedad (Catalán *et al.* 2009)

En el riego superficial autores como Selim *et al.*, (2009) plantean la necesidad de lograr mayor eficiencia del riego por disminuir el componente evaporación de la evapotranspiración de los cultivos y así mantener condiciones de humedad adecuada por mayor periodo de tiempo.

Hidráulicamente, los surcos funcionan de la misma manera que los canales; la diferencia fundamental estriba en que, mientras en éstos se intenta conducir el máximo caudal posible a distancias considerables con la mínima pérdida por infiltración, en los surcos, precisamente lo que se intenta es hacer que en cortos recorridos se infiltre el

agua que se conduce. En los canales, se desprecian las pérdidas por infiltración y evaporación, puede decirse que el caudal se mantiene constante en toda su longitud; mientras que en el surco el caudal es variable, decreciente, a medida que aumenta la distancia. Ello plantea especiales y complejos problemas que dificultan en parte la aplicación de los conceptos de mecánica de los fluidos, por lo que deben recurrir a ellos incluso, para el diseño a ensayos en el terreno. Los esfuerzos por alcanzar altas eficiencias de aplicación en los sistemas de riego por surcos están limitados por la amplia variación espacial y temporal de las características de infiltración del suelo (Brown, 2000).

El uso internacional del riego superficial se debe a la simpleza de su operación y al bajo consumo de energía. A pesar de esas ventajas, esta forma de riego ha tenido muchos detractores en Cuba, debido a la baja eficiencia en su aplicación. Por ello, hubo un desarrollo impetuoso del riego por aspersión y de las máquinas de riego. Las limitaciones en el consumo de energía en los últimos años, han provocado la revalorización del riego superficial en el país, esta tecnología ocupa alrededor del 70% de las áreas bajo riego, aunque la mayor parte de las mismas están ocupadas por el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L), caracterizados por su baja eficiencia, debido a que se obvian principios indispensables en el proyecto que faciliten un eficiente manejo del agua por el regador (Pacheco *et al.* 2006).

Según González (2008), el riego por surcos es agrónomicamente muy aconsejable para algunos cultivos que son muy sensibles al encharcamiento, ya que al sembrarse sobre la parte superior del surco, el sistema radicular nunca se cubre por completo de agua, por lo que se garantiza su aireación aún durante riegos de elevada duración. También es un sistema indicado para suelos de mala estructura en los que el contacto con el agua de riego produce costras que inducen compactación y reducen el intercambio gaseoso del suelo.

Esto hace que los sistemas de riego por superficie tengan dos ventajas económicas claras: No necesitan complejos equipos que graven al agricultor con sus amortizaciones, ni es preciso bombear el agua por encima del nivel de la parcela, con el consiguiente ahorro energético. Si los sistemas de riego por superficie están mal

diseñados u operados, o no están adaptados a las condiciones particulares de una finca, estas ventajas se ven anuladas por otros costos que pueden estar ligados al sistema, como unas elevadas necesidades de mano de obra, disminuciones en la producción o poca eficiencia en el uso del agua. Una ventaja añadida del riego por superficie es que usa tecnología local, por lo que en países en vías de desarrollo no plantea problemas de suministro de materiales o recambios, ni de mantenimiento. (Israelsen y Hansen, 1965)

No se aconseja para grandes pendientes, trazar los surcos paralelamente a la línea de máxima pendiente, para evitar el inconveniente que acarrea y el desbordamiento por encima de su lomo. Aunque por regla general, los grandes sistemas de riego por surcos en el mundo y en Cuba, han tendido a empeorar las propiedades físicas del suelo o han salinizado grandes extensiones de tierras, debido a un incorrecto diseño por no considerar todos los elementos que intervienen en el mismo.

Puede afirmarse que en esta técnica la pendiente debe ser entre 2-30 / 1 000 con un gasto de (0,5 - 4 L/s) aproximadamente, la velocidad del agua es de (0,1-0,25 m/s). Los surcos deben tener de 30 m o menos incluso en jardines, hasta 400 m como máximo lo óptimo es 90 -150 m y el agua correr concentradamente. Al emplear surcos demasiado largos se producen pérdidas excesivas por percolación profunda y erosión en sus cabeceras. Esta técnica requiere de una zanja de drenaje en la parte inferior del campo (Rodríguez y Santana, 2003) y (Pacheco *et al.* 2006).

Podría suponerse que sería imposible conseguir la uniformidad en la distribución del agua en estas condiciones, porque inevitablemente penetraría más cantidad de agua en el suelo, en el extremo inicial de la zona regada que en el final. Aunque siempre existe esta tendencia, es posible reducir al mínimo la falta de uniformidad y mejorar en la distribución del agua con riego superficial comparable con la de otros métodos. Se ha demostrado que una vía para el mejoramiento del riego superficial es el riego con caudal intermitente (Rodríguez y Santana, 2003).

2.5. Riego intermitente o de caudal discontinuo.

Según Rosales *et al.*, (2006) una de las más modernas técnicas de riego superficial es el que emplea un flujo discontinuo, el cual minimiza pérdidas de agua y obtiene una

distribución uniforme del agua. El sistema de riego por caudal discontinuo es una técnica desarrollada en los EE.UU para el control del agua de riego. Su invención se debió a la necesidad del gobierno norteamericano de proveer a los agricultores de este país de un medio económico y eficaz que permita el ahorro del agua y su manejo en suelos salinos. Fue entonces (principios de la década del 80) que las oficinas de agua, en conjunto con varias universidades, perfeccionaron esta metodología conocida en inglés como *Surge Flow*. Estos sistemas se pueden usar en pendientes de 0,1 a 2%.

El riego intermitente, caudal discontinuo, también llamado riego por impulsos o *Surge Flow* en los EE.UU ha emergido durante los últimos 15 años, como una de las tecnologías de mayor eficiencia en el uso del agua de riego y fertilizantes. Ha revolucionado substancialmente los sistemas de gravedad, modifica y mejora radicalmente cada uno de los parámetros intervinientes en el funcionamiento de este antiguo método. Las eficiencias de aplicación y distribución de agua en el perfil, como así también el ahorro de fertilizantes y el grado de automatismo son tan altos, que en estos momentos el *Surge Flow* están compitiendo con los pivotes de última generación y el goteo. La Universidad de Nebraska ha considerado al caudal discontinuo como una de las mejores prácticas de manejo (Roque, 2009).

Diversos autores plantean que fueron Stringham y Keller a finales de la década del 70 del siglo pasado que introdujeron el concepto de *Surge Flow* en la conferencia sobre especialidades en irrigación y drenaje de la American Society of Civil Engineers. En marzo de 1986, la oficina de patentes de los EE.UU registró esta modalidad de riego como un método y sistema por surcos y otorgó la patente a los doctores Jack Keller y G. E. Stringham, en tanto que la Fundación de la Universidad del Estado de UTHA quedó como cesionaria o apoderada. Desde entonces se han experimentado de manera continua en varios centros de universidades privadas y estatales de California y Texas, así como en las de Kansas y Colorado, entre otras (Morábito, 2005).

La explicación del fenómeno del riego se debe a que entre un ciclo y otro se produce un disgregamiento de los agregados del suelo que favorece el reordenamiento de las partículas del surco y una migración de sedimentos, se dispersan los agregados en los poros y grietas, provoca un proceso de "sellado". Por esta razón al haber una

interrupción de suministro de agua queda aire atrapado en los poros del suelo, durante el proceso de recesión, la estructura del suelo se altera, los terrones se disuelven parcialmente, las partículas se acomodan y forman una sedimentación que origina el aislamiento entre la superficie y el agua del próximo tiempo de avance en forma más rápida sobre la tierra húmeda según García (1994), Ahmer (1998), Ismail (2004) y P&R Argentina (2008).

Según Carbajal (2004) el cual coincide con los autores anteriores, durante el proceso de recesión, la estructura del suelo se altera, los terrones se disuelven parcialmente, las partículas se acomodan y forman una sedimentación que origina el aislamiento de la superficie. Aunque el flujo se suspenda en consecuencia la infiltración superficial también, las partículas de arcilla contenidas en el suelo humedecido continúan con un proceso de expansión tanto el agua como el suelo en contacto con la atmósfera captan aire por atracción capilar y bloquean las pequeñas superficies de los poros del suelo. El proceso se repite en cada ciclo durante el tiempo de desagüe y, por lo tanto durante los próximos suministros de agua se va reduciendo la infiltración y la resistencia a la rugosidad de la superficie del suelo, consiguiendo que el flujo circule con rapidez y se consiga un avance mayor y una mejor uniformidad en el riego.

En la descripción del proceso físico que ocurre en la interacción suelo-agua cuando se suspende el gasto entre impulsos, según (Rodríguez *et al.* 2011) este cambio en las propiedades del suelo, disminuyen las pérdidas por percolación profunda en el primer tercio del surco (regula la infiltración), mejora el patrón de humedecimiento, alcanza mayor equilibrio el tiempo de oportunidad y reduce las pérdidas por escorrentía superficial, se obtiene mayor eficiencia en el uso del agua (80 a 85%) en este método de riego (figura 1.4).

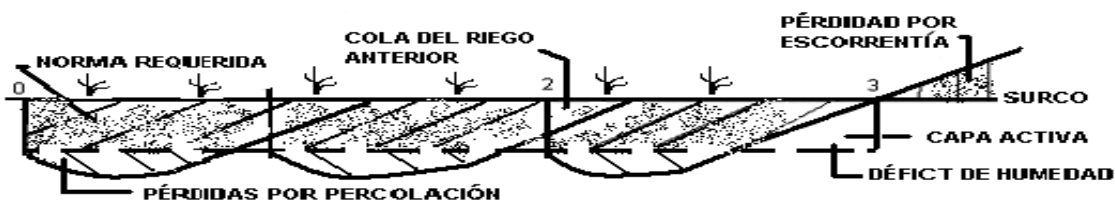


Figura 1.4 Patrón transversal típico del agua infiltrada en el riego superficial con caudal intermitente.
Fuente: Rodríguez y Santana, (2003).

Por tanto, es necesario mejorar la eficiencia del uso del agua de los pequeños agricultores mediante el fomento de la difusión y adopción de cambios tecnológicos sostenibles, como la tecnificación de un sistema de riego superficial con tuberías de salidas múltiples y la aplicación del agua mediante riego con caudal intermitente, el cual se presenta como una alternativa a los problemas encontrados en un riego superficial tradicional (Rodríguez *et al.* 2011).

2.5.1. Ventajas y desventajas de los sistemas intermitentes.

Las principales ventajas de esta modalidad de riego han sido muy justificadas y estudiadas por varios autores entre los que se pueden citar Rodríguez y Santana (2003), Santana (2006) y Narvate y Huachos (2007).

- Uniformidad de infiltración: El efecto "pulso" permite administrar el agua desde la cabecera, logrando un desarrollo de la capa húmeda del subsuelo extremadamente pareja entre la cabecera y el pie de surco.
- Permite alcanzar o superar el 70% de eficiencia de aplicación.
- Fácil instalación y operación.
- Mayor economía de agua, un ahorro de un 30 a un 50% de agua, respecto a los sistemas gravitacionales tradicionales y se pueden aplicar láminas pequeñas y frecuentes en caso de ser necesario.
- Menor costo que los de sistemas presurizados
- Se puede usar en cualquier sistema de labranza, convencional, reducida y cero.
- Se puede utilizar en cualquier cultivo.
- Se controla el problema de la erosión, por las mismas características de la intermitencia.
- Se puede reducir notablemente el uso de mano de obra.
- Con este método se permite mayores longitudes de surco que las tradicionales, variando según textura y pendiente entre 400 y 800 m.

- No deja uno de regar las esquinas en un terreno rectangular como es el caso con un pivote.

Con respecto a las desventajas que presenta este sistema intermitente o de caudal discontinuo autores como Rodríguez y Santana (2003), Santana (2006) y Narvate y Huachos (2007) han planteado lo siguiente:

- No se puede recomendar su uso para campos de topografía ondulada en donde los movimientos de suelo sean tan importantes que comprometan el perfil.

2.5.2. Características del sifón como sistema de riego intermitente.

El sifón invertido funciona siempre que el punto de entrada esté por encima del de salida: es decir, tiene que haber un cierto desnivel entre los puntos inicial y final que permita compensar el rozamiento; este es el principio de los vasos comunicantes.

Según Cruz (2005). Los sifones invertidos son conductos cerrados que trabajan a presión, se utilizan para conducir el agua en el cruce de un canal con una depresión topográfica en la que está ubicado un camino, una vía de ferrocarril, un drenaje incluso otro canal.

En el desarrollo posterior de la hidráulica, a partir de los aportes de Daniel Bernoulli (Chereque, 1987), se establecen las leyes básicas que permiten realizar el cálculo y diseño de las conducciones forzadas, donde el sifón egipcio jugó un rol fundamental en el entendimiento de los principios del flujo.

Según Corona *et al.*, (2007) en documento anteriores, permiten definir el sifón como: “El tipo especial de conducción destinada a trasvasar líquido de un depósito superior a uno de nivel inferior, pasando por un punto más alto que la superficie libre del depósito superior. Con la particularidad de que todo el tramo ascendente y parte del descendente se encuentran a una presión inferior a la atmósfera. Para que un sifón pueda funcionar es preciso cebarlo, operación que se efectúa generalmente aspirando aire desde el punto más alta del conducto.”

Los criterios que constituyen leyes para el diseño de los sifones que no pueden ser violadas pues se provocara la imposibilidad de funcionar o el funcionamiento ineficiente e inseguro son:

1. El tubo tiene que estar totalmente lleno para que establezca el flujo.
2. El método empleado para el cebado será una bomba volumétrica o eyector.
3. La rama de salida debe realizar la entrega sumergida.

La investigación realizada hace evidente la ventaja de diseñar, construir y operar sifones que no requieran del equipamiento auxiliar, es decir, el empleo de bombas de vacío, eyectores u otro dispositivo de operaciones eléctricas o manual para lograr el cebado. Sin que además, deban ser controlados y operados sistemáticamente para eliminarlos gases que se acumulan en la cumbre para mantener el flujo estable una vez puesto en circulación y que tampoco requiera de la obra de salida sumergida (Hidalgo *et al.* 1997).

2.5.3. Aplicación de los sifones.

El INIA (2006) desarrolló un método más eficiente y económico para el riego, que al ser de bajo costo está al alcance de la mayoría de los agricultores.

Este sistema se caracteriza por el empleo de los sifones en el riego subterráneo.

Corona *et al.*, (2007) plantea según documento anteriores revisados que los sifones mejoran la eficiencia del riego por gravedad por cuanto pueden hacer innecesarios los canales auxiliares y permiten el controlar el volumen de agua que ingresa al surco.

Como dosificadores de agua en los surcos los sifones logran que el caudal que recibe cada surco sea el mismo, esto se alcanza tomando el agua de canales abiertos o de tuberías de riego con orificios o compuertas regulables.

El sistema de riego mediante sifones permite bombear el agua desde el canal terciario de riego sin dañar el canal, que generalmente es de tierra.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

El proceso evaluativo del presente trabajo se realiza en la finca “La Arboleda”, perteneciente al sector campesino, estando ubicada en el km 10 de la carretera de Sancti Spíritus a Trinidad, en los terrenos de la Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida (CSSF) “Paquito Rosales” ubicada en el entronque de Guasimal, municipio de Sancti Spíritus.

Con el objetivo de desarrollar una tecnología que permita realizar intermitencias en el riego superficial por surcos, se emplearon conceptos de innovación local, utilizando materiales reciclados y de fácil alcance en las comunidades rurales del país.

El proceso de diseño parte del conocimiento acumulado en el tiempo como es el caso del “Vaso de Tantaló” utilizado en los tratados de Física general, del Sifón, así como los Sifones Autocebantes y el modelo del Diabeto, propuesto por García (1995) y el Tanque de Descarga por el Fondo (TDF), modificado por Santana (2007).

3.1. Propuesta del diseño para el experimento.

Para el estudio del desempeño del Tanque de Descarga por Sifón (TDS) propuesto, así como la comprensión del comportamiento hidrodinámico y potencialidades del mismo se propone representar un diseño de tres tomas o extremos sumergidos en el líquido, los cuales se encuentran a diferentes alturas con respecto a la base del depósito, estableciéndose como variantes experimentales las siguientes:

Variante I: Funcionamiento del Tanque de Descarga por Sifón (TDS) con una distancia de 0,06 m entre el fondo del depósito (Tanque metálico) y la toma hidráulica del dispositivo de descargue.

Variante II: Funcionamiento del Tanque de Descarga por Sifón (TDS) con una distancia de 0,21 m entre el fondo del depósito (Tanque metálico) y la toma hidráulica del dispositivo de descargue

Variante III: Funcionamiento del Tanque de Descarga por Sifón (TDS) con una distancia de 0,41 m entre el fondo del depósito (Tanque metálico) y la toma hidráulica del dispositivo de descargue o sifón.

Se define como variable independiente cada una de las tomas de agua en el interior del dispositivo, funcionando como variables dependientes todos los parámetros hidrométricos a medir que se exponen posteriormente en este documento. Se realizarán mediciones con 20 frecuencias en cada caso según corresponda, tomándose estos como réplicas del diseño, determinando así las máximas potencialidad del dispositivo.

En la metrología se utilizó una pipeta de 500 ml modelo "Azlon", cinta métrica, regla de nivel, escuadra milimetrada, cronómetro modelo "O.T.S" al igual que recipiente aforado de 3 y 20 litros.

3.2. Diseño y construcción del Tanque de Descarga por Sifón (TDS).

Para el diseño del Tanque de Descarga por Sifón (TDS) empleamos el Software Sketchp 4.0; determinándose las dimensiones y ecuaciones matemáticas para la arquitectura del mismo, realizándose cálculos del diámetro, área y volumen.

Para el diseño de la parte interior se calcularon los diámetros de la campana, altura de los puntos de succión y apertura entre el tubo de salida y la campana. Las mediciones realizadas en el área exterior del TDS fueron área de la base y volumen, resultando necesarias para su construcción.

Para la construcción del TDS procedimos al ensamblado en las áreas de los Talleres de la Empresa de Servicios Técnicos a la Industria (ZETI), pertenecientes al grupo empresarial (Azcuba), ubicados en la Carretera de San Juan Bosco, municipio Sancti Spíritus. Se utilizaron instrumentos de soldadura por arco eléctrico, oxígeno y acetileno; así como equipo de torneado, fresado y lijadora eléctrica. Los recursos locales necesarios para la construcción del TDS fueron: Bidón metálico para envasar miel reciclado de la industria apícola, tubo metálico hidráulico de 50 mm de diámetro y 3 m de longitud, llave hidráulica de 50,8 mm, tubo metálico hidráulico de 101,6 mm de diámetro y manguera o calibrador de polietileno. El ensamblaje del dispositivo se realizó con un equipo de soldar mediante arco eléctrico y electrodos fundentes de acero (7018-AWSE). También se utilizó soldadura autógena y alambre de cobre. Los cortes y rosca de las piezas se realizaron con un torno modelo IM-63, Sierra Eléctrica industrial de nacionalidad Rusa y Lijadora eléctrica modelo Bosch.

3.2.1 Estudio hidrodinámico del TDS.

Para evaluar el desempeño del TDS se utilizó la metodología desarrollada por Santana (2007), teniendo como propósito la caracterización de las potencialidades del equipo en la actividad del riego intermitente, valorándose los siguientes parámetros:

- **Tiempo de llenado (min).**
 - Se determina en experimento de campo con el uso de un cronómetro, tomándose el tiempo desde que cesa la salida de agua por la tubería de entrega hasta su nueva aparición.
- **Tiempo de vaciado (min).**
 - Es el tiempo transcurrido desde que comienza a existir un caudal en la tubería de salida del dispositivo hasta que este desaparece y finaliza la entrega de agua.
- **Tiempo total de un ciclo (min).**
 - Comprende el tiempo que demora el TDS en realizar un ciclo completo, que comienza al iniciarse el llenado, continúa con el descargue y concluye cuando se inicia un nuevo llenado del depósito.
- **Volumen de trabajo (L).**
 - Volumen máximo de almacenamiento que alcanza el depósito del TDS antes de comenzar su fase de descarga del agua.
- **Volumen muerto (L).**
 - Volumen mínimo que queda en el depósito del TDS o remanente y que no es descargado por el sistema.
- **Caudal de entrada(L/s)**

Se determinaron los caudales de funcionamiento para las Variables I, II y III antes mencionadas. En experimento de campo se utilizó un recipiente con capacidad para tres litros de agua, tomándose muestras del líquido que entraba al TDS hasta llenarse dicho recipiente, midiéndose el tiempo

de llenado del mismo, lo que nos permitió conocer los valores del caudal máximo ($Q_{m\acute{a}x}$), caudal medio (Q_{med}) y caudal mínimo ($Q_{mn}$).

- **Volumen de salida (L/s)**

- Es el volumen de agua que sale por el orificio de descarga en cada caudal y variable.

- **Cculo del coeficiente de gasto (m^3/s).**

- Para la determinación de este parámetro se empleó la ecuación de Israelsen y Hansen (1965), valorándose el caudal que sale por el orificio de descarga, el cual varía en función del nivel o altura del agua:

$$q_{oi} = \mu A_0 \sqrt{2gH_i} \quad [2.1]$$

Dónde: q_{oi} es el caudal de salida por el orificio localizado en la parte inferior del tanque (m^3/s); A_0 el área del orificio de salida (m^2); g la aceleración de la gravedad (m/s^2) y H_i la altura de agua en el dispositivo fluorhídrico (m) y μ el coeficiente de gasto.

El valor de μ se obtiene de forma experimental a partir de la medición simultánea de las variables (H_i , q_{oi}) y la aplicación posterior de la siguiente ecuación:

$$\mu_i = \frac{q_{oi}}{KH_i^{0.5}} \quad [2.2]$$

Siendo:

$$K = A_0 \sqrt{2g} \quad [2.3]$$

Donde K es la variación de la altura de agua desde su valor máximo en que se produce el vertimiento de la misma hasta la carga mínima en que ocurre el cierre.

- **Cculo del gasto contra tiempo (m^3/s).**

Para la determinación de este parámetro utilizamos la metodología propuesta por Basn (2008), que consiste en el método de las coordenadas del chorro.

Para el aforo de la tubería horizontal que está en estado totalmente lleno se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = A.v \quad [2.5]$$

Se determinó el área transversal de la tubería de salida realizando el cálculo por un coeficiente ya pre establecido:

$$A = 0.785d^2 \quad [2.6]$$

Se realizaron mediciones de las coordenadas del chorro que nos facilitó obtener el valor de la velocidad del caudal:

$$v = \sqrt{\frac{g.X^2}{2Y}} \quad [2.7]$$

3.3. Estadística.

Los datos referidos para los distintos parámetros del TDS y las características hidrodinámicas del mismo con las variables planteadas se utilizaron para la evaluación del diseño y se tuvieron en cuenta 20 repeticiones por cada parámetro recopilado, analizándose estadísticamente con el *Software Statistical Package for the Social Science* SPSS 20 (2011).

Se realizó ANOVA de un factor, donde se analizaron los datos, comprobándose las medias, los extremos, la variación y frecuencia de los datos obtenidos y Duncan para Subconjuntos Homogéneos.

3.4. Valoración económica.

La evaluación económica de la tecnología propuesta se realizó a partir de los parámetros e índices siguientes:

- Costos de materiales empleados.
- Costos de insumos y maquinarias utilizadas.
- Gasto en salario.
- Costo total.

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. Diseño del TDS.

Como parte del proceso de innovación y construcción del TDS se procedió al diseño digital del mismo (Anexo 1), dentro de los aspectos a tener en cuenta se determinó el volumen del depósito o tanque de $0,23 \text{ m}^3$, el cual se desconocía ya que el tanque o bidón es obtenido como un elemento ya construido y reciclado. La capacidad volumétrica nos facilitó una mejor comprensión del diseño y de las potencialidades de descarga del TDS. Por otra parte se calculó el diámetro del recipiente, con un valor de $0,59 \text{ m}$, el área de la base de este es de $0,26 \text{ m}^2$ y una altura de $0,875 \text{ m}$.

En el diseño ya propio del sifón autocebante o campana; el primer cálculo realizado fue el área del tubo de descargue o interior según el anexo 2, donde se obtuvo un valor de $0,202 \text{ m}^2$. A partir de este valor se calcularon las dimensiones de la campana o parte exterior del sifón, arrojando un radio de $0,035 \text{ m}$, para un espacio entre el tubo de descarga y la campana de $0,0105 \text{ m}$ tanto por la parte superior como por el lateral. Garantizándose de esta manera que el área existente entre el tubo de salida y la campana fuese de $0,203 \text{ m}^2$ evitándose de esta manera alguna estrangulación o cambio de presión dentro de la campana y el tubo por un cambio de área de circulación del fluido. Esta circulación del fluido se muestra en anexo 2a.

4.2. Estudio hidrodinámico del TDS.

Para una mejor comprensión de las variables dependientes obtenidas en las observaciones y mediciones de los parámetros hidrodinámicos del Tanque de Descarga por Sifón. Se pretende observar los resultados y discusiones desde las tres variantes correspondientes a las tomas de agua del TDS según se clasificó en el capítulo anterior.

Dentro de los parámetros que caracterizan a cada variante se encuentran Tiempo de llenado, vaciado, tiempo total de un ciclo y Caudal de entrada los cuales están representado en el en la tabla 3.1.

Se puede observar que para la Variante I el tiempo de llenado es proporcionalmente inverso al caudal, esto se observa mediante la tendencia a disminuir el tiempo a medida que aumenta los caudales de entrada. De igual forma se evidencia en parámetros donde el tiempo para el caudal mínimo supera en 1,56 veces al tiempo para el caudal máximo como es el caso del tiempo total de un ciclo del TDS. No siendo así para el parámetro tiempo de vaciado donde el período de la Q_{med} es un 12% menor con respecto al tiempo transcurrido para una $Q_{mín}$. Entrando en contradicción con la lógica que indica que a un caudal mayor se prolonga el tiempo de vaciado más que a un caudal menor.

Tabla: 3.1 Parámetros hidrodinámicos correspondientes a la Variante I.

Caudales	t. de llenado (min).	t. de vaciado (min).	t. total del ciclo (min).	Caudal de entrada (L/s)
$Q_{máx.}$	01:56,5	02:26,0	04:13,3	1,234
$Q_{med.}$	03:14,2	01:20,2	04:36,5	0,735
$Q_{mín.}$	04:35,0	01:30,6	06:35,0	0,512

Se constata que todos los tiempos tanto de llenado como vaciado se diferencian uno de otros para cada caudal de entrada, demostrándose que tanto a caudales medios como mínimo el dispositivo emplea más tiempo en llenarse que para desarrollar la descarga del agua. Solamente a un $Q_{máx}$ el dispositivo realiza el llenado 1,26 veces más rápido que el tiempo empleado en la descarga o vaciado.

En la Variante II representada en la tabla 3.2 se observa que el caudal de entrada para la $Q_{máx}$ es 4,11 veces mayor que el $Q_{mín}$ de la variante, Así el caudal medio solo supera en 0,176 litros por segundo al $Q_{mín}$, mientras que es superado en 0,874 litros por segundo por el $Q_{máx}$.

Otro aspecto a tener en cuenta es el parámetro tiempo total del ciclo transcurrido en el funcionamiento del TDS, como se observa en la tabla 3.2, el tiempo total del ciclo para el caudal máximo es de 2:41, 7 minutos, observándose que la diferencia de este para el mismo tiempo del ciclo pero a un caudal mínimo es 2,56 veces mayor, existiendo una diferencia de 3:36 minutos. Esta característica del TDS puede ser aprovechada por los

productores y regadores que a través del caudal pueden regular el tiempo de funcionamiento del mismo.

Tabla 3.2: Parámetros hidrodinámicos correspondientes a la Variante II.

Caudales	t. de llenado (min).	t. de vaciado (min).	t. total de ciclo (min).	Caudal de entrada (L/s)
<i>Q máx.</i>	01:17,3	01:36,9	02:41,7	1,377
<i>Q med</i>	03:26,2	00:57,6	04:21,6	0,503
<i>Q mín.</i>	05:14,5	01:01,0	06:17,1	0,327

Al igual que en la anterior variante existe un comportamiento similar entre el periodo de llenado y tiempo total del ciclo, ya que existe una tendencia a aumentar el tiempo a medida que el caudal de entrada disminuye. Volviendo a incurrir de forma ilógica la secuencia para el parámetro tiempo de vaciado donde la *Q med* es 3,4 segundos menor que la *Q mín.*

En el caso de la Variante III como se muestra en los datos de la tabla 3.3 existe la misma problemática que en las variantes anteriores donde el tiempo de vaciado para *Q med* es menor 1,18 veces que *Q min*, sin embargo los tiempo de vaciados son similares ente el caudal mínimo y el máximo, es necesario considerar que en esta variante es la de menor altura entre la toma de agua y la superficie del depósito o tanque, lo que trae consigo que la presión provocada por la columna de agua desarrolla menor influencia sobre el caudal de salida y los tiempo de descargue.

En esta variante se puede observar en el parámetro tiempo de llenado, que para un caudal mínimo se demora 3,74 veces más que para el caudal máximo, esta variante es la de menor tiempo para el llenado, ya que es la que menor agua almacena en el depósito, esto está influenciado directamente por los caudales utilizados, donde el caudal de entrada menor utilizado en esta variante es un 2,36 veces menor que el caudal máximo.

Tabla 3.3: Parámetros hidrodinámicos correspondientes a la Variante III.

Caudales	t. de llenado (min).	t. de vaciado (min).	t. total de un ciclo (min).	Caudal de entrada (L/s)
<i>Q máx.</i>	00:55,7	00:46,5	01:45,1	1,166
<i>Q med</i>	01:46,8	00:38,1	02:03,7	0,711
<i>Q mín.</i>	02:06,4	00:45,3	02:51,0	0,495

Con respecto al tiempo total de un ciclo, es visible en la tabla 3.3 que existe una diferencia de 1,73 veces entre el tiempo total con caudal máximo y el mínimo, como se pudo comprobar anteriormente en el tiempo de vaciado no existe gran discrepancia, por lo que podemos deducir que el tiempo total del ciclo está directamente influenciado por el tiempo de llenado el cual en este caso si varia de un caudal a otro, este puede ser aprovechado por los productores ya que dispones de diferentes periodo de intermitencia para manejar el riego en su parcela.

Alcanzado este punto de observaciones científicas para cada variante individual donde se exponen los parámetros hídricos determinados para el TDS, se pueden realizar comparaciones del funcionamiento del dispositivo de forma general y desde la óptica de los caudales determinado para cada caso.

Desde una visión más amplia de las tres variantes se puede observar en la figura 1 como existen diferencia entre las variantes con respecto a los caudales de funcionamiento del dispositivo.

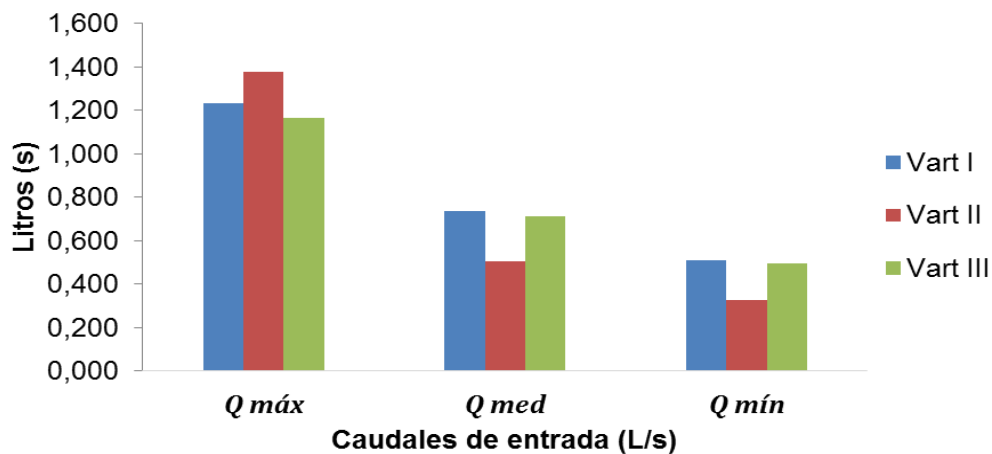


Figura. 1: Caudales de entrada por variantes del dispositivo.

En el caso de la Variante II anteriormente se logró observar una tendencia a expresar valores por debajo que las demás variable para las Q_{med} y $Q_{mín}$, no sucede así para el gasto máximo donde alcanza mayor valor. En el caso de las Variantes I y III presentan igualdad en la tendencia a sus valores, aunque esta última siempre es la menor de las tres. Lo anterior expuesto refleja un comportamiento el cual no se puede explicar con los estudios realizados en esta tesis, quedando así en las áreas de investigación de la física y mecánica de los fluidos.

Se determinó en observaciones experimentales que en el caso de los caudales máximos de entrada el TDS presenta una tolerancia que se modifica con las variantes estudiadas que está en el rango de 1,17 a 1,38 L/s; valores superiores a este provocaron que el TDF no realice correctamente su función ya que no existe una descarga mayor que el caudal de entrada, esto trae consigo que no se aloja aire en la parte superior de la campana para así conseguir las perdida de succión y con ello el corte del caudal de salida.

Según Santana (2006) para el funcionamiento del TDF, en cuatro variantes estudiadas los caudales de entrada se variaron a partir de 0,55 L/s que es el caudal promedio que llega a la finca para las condiciones técnicas disponibles y carga del sistema. A partir de este se tomó un valor superior de gasto de 0,71 L/s y dos valores inferiores de 0,30 y 0,45 L/s respectivamente. Como se puede observar el Tanque de descarga por Sifón trabaja a caudales de entrada mayores que los utilizados anteriormente en mecanismos perfeccionado mediante tecnología de desarrollo local para el riego intermitente.

En años posteriores Rodríguez y Delgado (2011) realizaron investigaciones donde fijaron para el TDF, caudales de 0,60- 0,70 L/s estos están dentro de la media de los valores obtenidos para el TDS. Los caudales mínimos obtenidos en esta investigación oscilan en el rango de 0,33 a 0,52 L/s, valores de trabajo menores a este como es el caso del TDF, son imposibles para el funcionamiento del TDS ya que el poco volumen y presión en el interior de la campana impiden la expulsión del aire interior y así provocar un auto cebado que facilite la succión del agua por el tubo de salida.

Como se puede observar en la figura 2 existe una relación proporcionalmente creciente de cada variable con respecto a los caudales de entrada utilizados. Se puede plantear que el periodo en que se llena el depósito del TDS coincide con el tiempo *off* para la tecnología de riego intermitente. Autores como (Rodríguez *et al.* 2014) en uso de tecnologías de punta como es el caso de la válvula FULCON DN150 determinaron un tiempo *off* de forma experimental en cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L) de 3 minutos. En el caso de nuestro diseño las Variantes I y II a un caudal medio se comportaron con tiempos aproximados entre ellas lo que valida el uso de tecnologías desarrolladas mediante la innovación local.

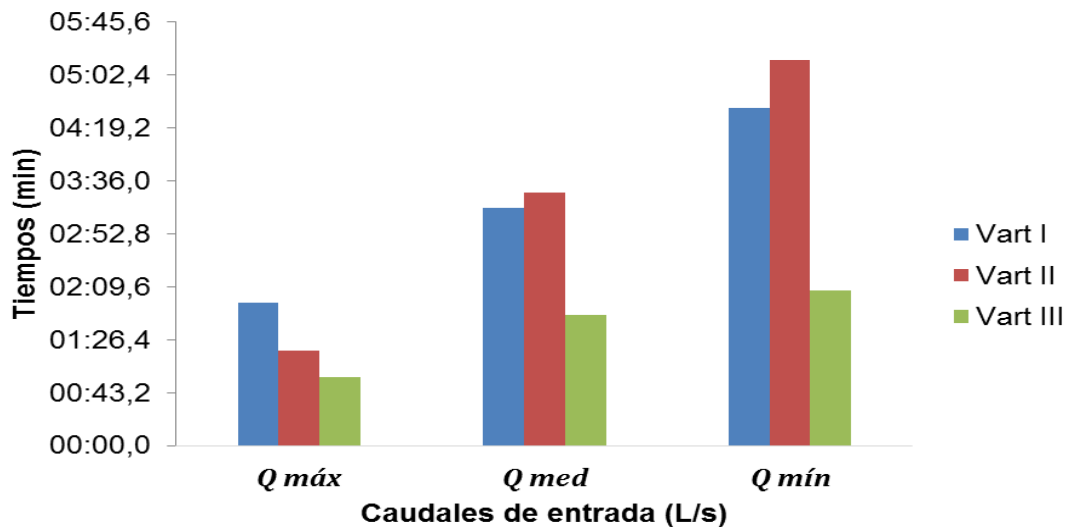


Figura. 2: Tiempo de llenado por caudales para las tres variantes.

Como se observa en la figura 2 la Variante I se comporta con mayor estabilidad que las demás, alcanzando su mayor tiempo de llenado a los 4:35 minutos; para el TDS el mayor tiempo es de 5:14,5 minutos, según criterios planteados por Santana (2006) el tiempos de llenado en el orden de 10 minutos atentan contra la productividad del riego, en su trabajo con el TDF presencio tiempos de llenado de 4 y 6 minutos aproximadamente los que coinciden con los obtenidos por el TDS.

El tiempo de vaciado es muy importante ya que este es directamente proporcional al volumen total descargado. Como se aprecia en la figura 3 para el TDS existe una marcada diferencia entre cada variable y caudal en cuanto a su comportamiento entre sí. Sin embargo para las tres variables el Q_{med} expresa valores menores a la $Q_{mín}$ lo

que no coincide con los valores de los caudales de entrada correspondiente a cada tratamiento.

Los tiempos de vaciado para el dispositivo van desde 2:25,5 hasta 00:38,1 minutos, este rango es superior al planteado por Santana (2006) para el TDF que van desde 1:13 hasta 1:41 minutos, los cuales pueden ser logrados con nuestro dispositivo mediante la combinación de los caudales y variantes adecuados. Basados en el TDF como única tecnología desarrollada en el país mediante la innovación local podemos plantear que el mayor tiempo de vaciado para este es superado en 1,6 veces por el tiempo de vaciado alcanzado por el TDS.

Autores como Rodríguez y Delgado (2013) sitúan tiempos de *on para* la válvula hidráulica automática de 2 min lo que coincide con el tiempo de vaciado del TDS propuesto.

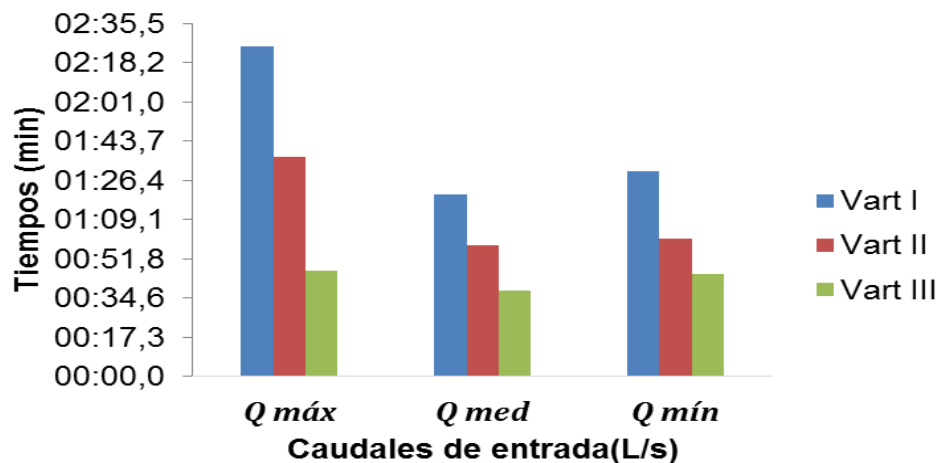


Figura. 3: Tiempo de vaciado por caudales para las tres variantes.

Según Viera *et al.*, (2013) en estudios para el mejoramiento de la tecnología del riego por surcos en la comunidad Banao, los valores registrados con el TDF fueron de 1:5 minutos. Esto valida una vez más los resultados del diseño propuesto anteriormente, el cual para cualquiera de su variante expone resultados similares a los encontrados en la bibliografía consultada.

4.3. Determinación de la volumetría y caudales de entrega del TDS.

El volumen de agua requerido en el riego superficial es un parámetro muy importante en el diseño de un dispositivo, de la magnitud de este depende aspectos como el avance del flujo a través de la superficie del suelo, así como mejorar la eficiencia y uniformidad de distribución del agua.

El TDS en su régimen de trabajo cambia los volúmenes de agua que puede almacenar en el depósito. En la tabla 3.4 podemos observar como existe variación en dependencia de la variante utilizada.

Como se observa a continuación el volumen de trabajo es permanente para las tres variantes, esto está condicionado por el diseño, determinándose a 0,73 m se encuentra el volumen máximo y de trabajo para el dispositivo. En el caso del volumen muerto si existe variación con respecto a las variables ya que toda el agua que quede por debajo de la toma de succión es considerada como un volumen muerto y no utilizado en la descarga del TDS, lo que puede ser una deficiencia del dispositivo. Siempre existirá para este diseño un remanente de 39 litros, esto aumenta con la variable, ya que la Variante III siempre será 3 veces el volumen de la Variante I.

Tabla 3.4 Dimensiones del Volumen de trabajo máximo y mínimo.

Variantes	Volumen de trabajo (máx)		Volumen de trabajo (mín)	
	Litros (L)	Altura (m)	Litros (L)	Altura (m)
Variante I	187	0.730	39	0.165
Variante II	187	0.730	76	0.310
Variante III	187	0.730	117	0.465

En comparación con otras tecnologías podemos decir que Santana (2007) estableció volúmenes de trabajo para el TDF de 173,25 litros, esto es superado en 14 litros de agua teóricamente almacenados.

Teóricamente basado en el dimensionamiento del diseño se puede tener una visión de los volúmenes de agua que entregara el dispositivo como es el caso de la tabla expuesta anteriormente. La ejecución de trabajos experimentales y de campo verifica que los volúmenes de entrega son dependientes de los caudales utilizados como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Volúmenes de salida del dispositivo en cada una de las variables (L).

Caudales	Variante I (L)	Variante II (L)	Variante III (L)
<i>Q máx</i>	306,990	225,740	114,027
<i>Q med</i>	230,867	144,645	103,095
<i>Q mín</i>	204,205	131,735	86,966

Los volúmenes de salida se comportan proporcionalmente directo a los caudales y con respecto a las variables siguiendo una tendencia lógica a disminuir el volumen de entrega a medida que aumenta el volumen de trabajo muerto. Como característica del TDS la Variante I es la de mayor volumen de entrega observándose que existe una diferencia 102,785 litros de agua entre el caudal máximo y el caudal mínimo, con respecto a la Variante III existe una diferencia con respecto a los caudales máximos de 192,963 litros.

En párrafos anteriores se reflexionó sobre la relación existente entre el tiempo de vaciado y el volumen total de salida del dispositivo, siguiendo los valores de la tabla 3.5 y la figura 3 se puede observar que existe una relación en el comportamiento de las variables con respecto al vaciado y el volumen entregado para caudales máximos y mínimos, sin embargo no sucede así con respecto a un caudal medio.

Lo anteriormente expuesto puede estar explicado a partir de que a caudales mayores se igualan los volúmenes de entrada y salida del dispositivo disminuyendo la succión de aire hacia la campana por lo que se alarga el tiempo de llenado y por ende el volumen entregado. Con respecto al caudal mínimo se observó que al iniciar la descarga del tanque transcurre un periodo donde aún no se consigue el autocebado del sifón, esto prolonga el periodo de vaciado con respecto al caudal medio, sin embargo los volúmenes de agua entregada son menores.

El volumen de trabajo del TDS es de 187 litros, si a esto le quitamos los 39 litros de remanente nos da un volumen de 148 litros disponibles para entregar en cada intermitencia; esto se duplica bajo la influencia de los caudales, exponiendo así volúmenes cercanos a los propuestos por (Rodríguez *et al.* 2014) para el uso de válvulas automatizadas con valores de 408 litros de entrega por cada tiempo *on*.

4.3.1. Caudales de entrega con respecto al tiempo y altura.

A partir del análisis de la estimación curvilínea (regresión) aplicado a la relación caudal-tiempo, se determinó que el modelo que más se ajusta es el lineal para la Variante I con respecto a los tres caudales, en el anexo 3 podemos observar la relación curvilínea para cada variante y caudal. En este tratamiento la relación del tiempo y caudal es decreciente o con tendencia negativa fuerte en sus tres caudales. De los tres caudales el coeficiente de correlación más alto es el del $Q_{m\acute{a}x}$ con un 0,98 como se observa en la figura 4. Para este mismo caudal el coeficiente de determinación es de 0,96. Este coeficiente explica que la tendencia de la variabilidad es de 96%; es decir, el caudal de salida varía $-0,0001 \text{ m}^3$ (pendiente de la recta) por cada unidad de variación del tiempo.

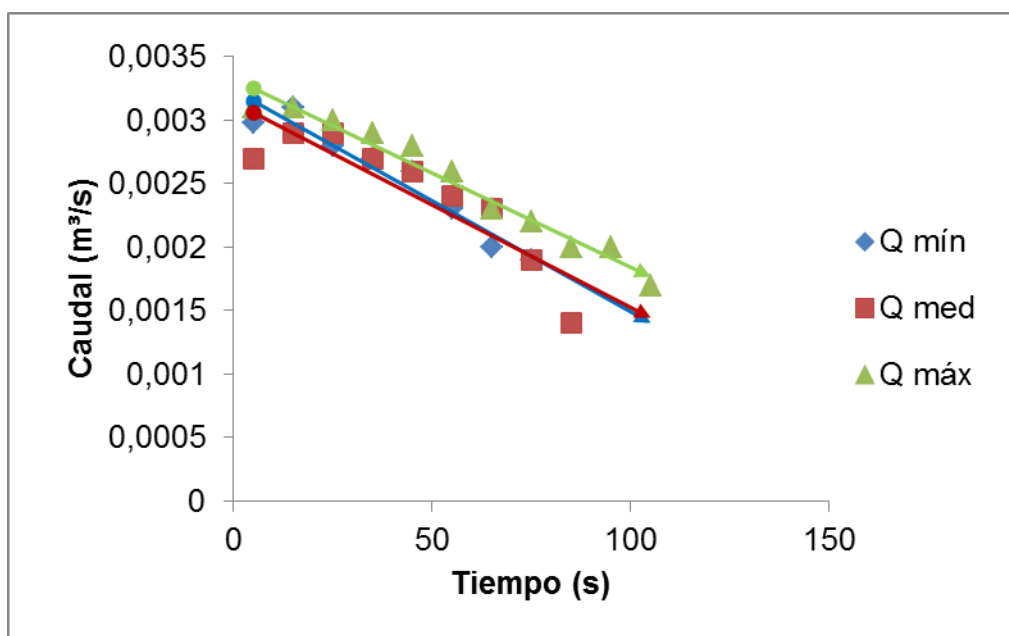


Figura. 4: Estimación curvilínea para caudal contra tiempo en la Variante I.

Para los demás casos, el coeficiente de determinación disminuye destacándose el Q_{med} con un valor de 79%, como podemos determinar en la figurar 4, tanto al inicio como al final de este caudal existen valores con alto error provocado por el inicio del caudal de salida por un pequeño periodo en el cual él tuvo no se encuentra en toda su capacidad de descarga al igual que al final donde permanece un periodo de descarga remanente del fluido.

En cuanto a la Variante II en la figura 5 se observa una tendencia decreciente para caudal medio y máximo, donde en la estimación curvilínea el modelo que más se ajusta es el lineal. Para el caudal mínimo el modelo que mayor ajuste presenta es el exponencial con tendencia negativa. Como se observa en el anexo 4 el coeficiente de determinación más alto es el de Q_{med} con un 0,83, lo que indica que el caudal de salida varía $0,002 \text{ m}^3$ por cada unidad de variación del tiempo. Según se evidencia el $Q_{máx}$ presenta una alta dispersión de sus datos por lo que su coeficiente de correlación es solo de un 28% con una determinación de 0,08, en general para caudal máximo y mínimo el coeficiente de determinación es muy bajo.

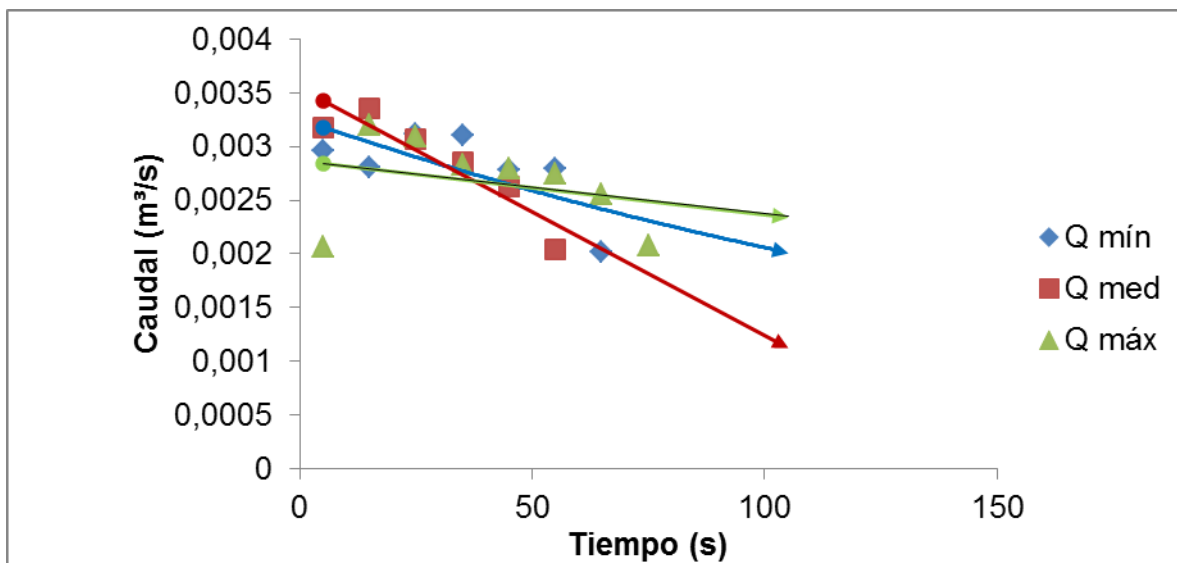


Figura. 5: Estimación curvilínea para caudal- tiempo en la Variante II.

Como tendencia para los tres caudales se observa estos que inician la descarga a tan solo unos segundos y alcanzan su punto máximo sobre los $0,003 \text{ m}^3/\text{s}$ estabilizándose durante un pequeño periodo y luego decrece el caudal hasta realizar el cierre sobre los dos $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$

En la figura 6 se observa que la relación es lineal decreciente muy fuerte para los caudales mínimo y máximo, para el caudal medio el modelo que más se ajusta es el exponencial de tendencia negativa como se observa en el anexo 5. Entre los caudales el de mayor coeficiente de correlación es la $Q_{mín}$ con un 0,93, exponiendo la menor dispersión de los datos con respecto a la curva, para el caso del Q_{med} representa el coeficiente de correlación más bajo. El coeficiente de determinación en el en la salida

con un caudal mínimo expone un 0,86 lo cual comprueba la variabilidad es de 86% entre las variables

Para esta variante la descarga se realiza en un corto tiempo, como se observa en la gráfico nunca paso de los 60 segundos, el caudal mínimo como describe la curva anteriormente se mantiene decreciente de forma estable en el tiempo. Sin embargo para el caudal máximo y medio existe una tendencia a disminuir drásticamente entre los 30 y 40 segundos de la descarga. Propiciando un cierre total del caudal de agua sin casi existir remanente que alargue el tiempo de vaciado.

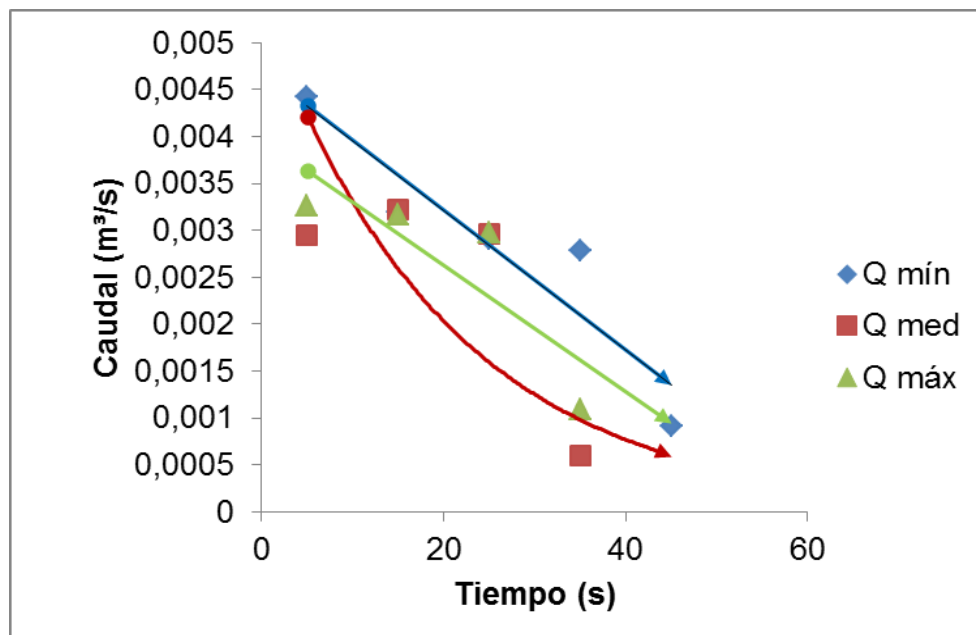


Figura. 6: Estimación curvilínea para caudal- tiempo en la Variante III.

El caudal que sale por el orificio de descarga está estrechamente relacionado con la altura o carga de la columna de agua en el depósito. Autores como Santana (2007) mediante el cálculo de coeficientes de gastos han demostrado que a la medida que la columna de agua disminuye, al igual que el caudal de salida por lo que están estrechamente relacionado. En la tabla 3.6, se establecen los promedios por variante y para los caudales de entrada de los coeficientes de gasto del TDS. Estos nos permiten determinar experimentalmente apoyados en la ecuación [2.1] el gasto para cualquier rango de altura en el depósito.

Tabla 3.6: Coeficientes de gato (μ) por variantes y caudales de entrada.

Variantes	$Q_{m\acute{a}x}$ (L/s)	Q_{med} (L/s)	$Q_{m\acute{i}n}$ (L/s)
Variante I	0,486	0,477	0,460
Variante II	0,468	0,446	0,353
Variante III	0,416	0,393	0,392

En estudios realizados por Santana (2007) este determinó coeficientes de gasto con un promedio de 0,617, este es superior a los determinados en nuestra investigación, esto puede estar dado por la variabilidad de las muestras obtenidas durante el proceso experimental. Analizando el modelo matemático por demos decir que la unidad del caudal variara en un 0,4 como promedio cada vez que se modifique una expresión de la altura, esto se evidencia en la Variante III donde la altura de agua es menor con respecto a las demás por lo que su coeficientes llega hasta el orden de 39%

Para la Variante I como se observa en la figura 7 el confidente de gasto esta entre 0,6 y 0,48, por lo que la variación de los caudales con respecto a la altura es menos perceptible y se desarrolla en un periodo de tiempo amplio.

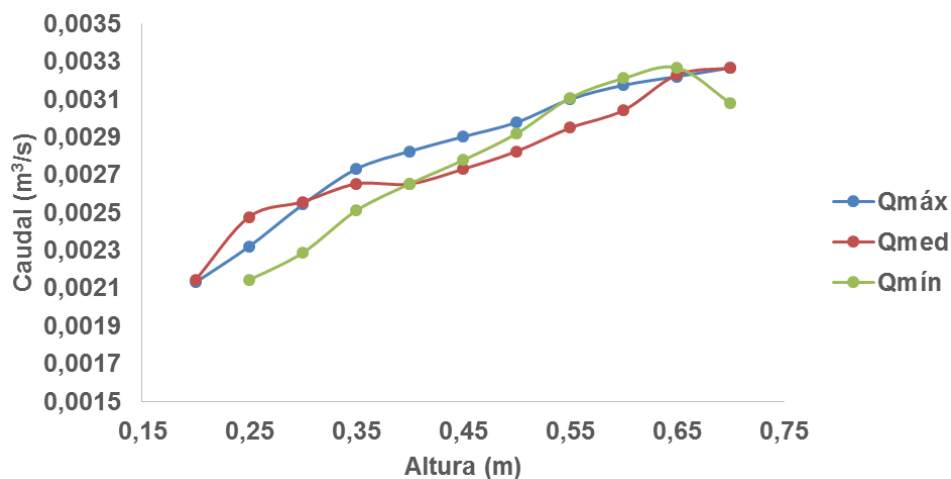


Figura. 7 Relación caudal altura de agua en el tanque para la Variante I

A diferencia de $Q_{m\acute{i}n}$ que necesita un periodo de tiempo más largo para lograr el auto cebado, las demás caudales disminuyen progresivamente a medida que se reduce la columna de agua en el depósito. Entre el caudal de inicio del tiempo de vaciado y el caudal final existe una diferencia de 1,53 veces como promedio en los tres caudales de

entrada. En el caso específico de la $Q_{m\acute{a}x}$ podemos decir que su valor para la presente variantes es de 1,23 L/s, el cual es superado 2,65 y así permite una descarga paridad, aun próximo al punto muerto del tratamiento el caudal es de 2,13 L/s lo que permite que se evacue mayor cantidades de agua que la que ingresa al depósito.

Como característica del TDS se destaca que durante el periodo de descarga o vaciado se observan tres fases fundaméntale como se muestra en la figura 8: La primera fase comienza con un caudal muy pobre donde aún el sifón no se ha cebado y la descarga se produce con la tubería medio vacía, posteriormente comienza la segunda fase donde la presión de aguan extrae todo el aire del interior de la campana y se completa el cebado donde las tuberías evacuar el agua a toda capacidad del interior del depósito, al perderse la carga el caudal va disminuyendo gradualmente hasta llegar al punto muerto o extremo de la toma de absorción y la propia presión ejercida por el líquido, succiona liquido hasta el interior de la campana provocando nuevamente el descebado del dispositivo.

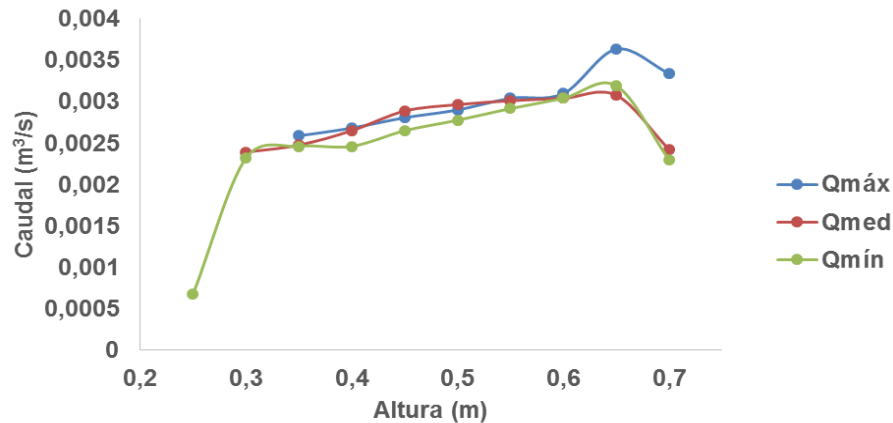


Figura. 8 Relación caudal altura de aguan en el tanque para la Variante II

En la figura anterior se evidencia como la Variante II transcurre por las tres fases, aunque se destaca la fase intermedia donde existe una tendencia marcada para cada caudal de entrada a estabilizar durante un periodo de tiempo, la descarga o salida del aguan, durante este periodo el coeficiente de variación es menor al expresado por la Variante I y la diferencia entre el cauda con respecto a la altura no sobrepasa los $0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para la Variante III el coeficiente de gasto es relativamente bajo, esto puede estar determinado ya que según observamos en capítulos anteriores entre el punto máximo de trabajo y la toma de succión de la Variante III solo existe una diferencia o columna de agua de 0,265 m, la variación con respecto a la altura y sobre todo el tiempo de descarga como se observa en la figura 9. De forma general esta variante para sus tres caudales presenta un comportamiento similar entre sí y con los demás tratamiento solo que en este caso el periodo o etapa intermedia es de un tiempo menor.

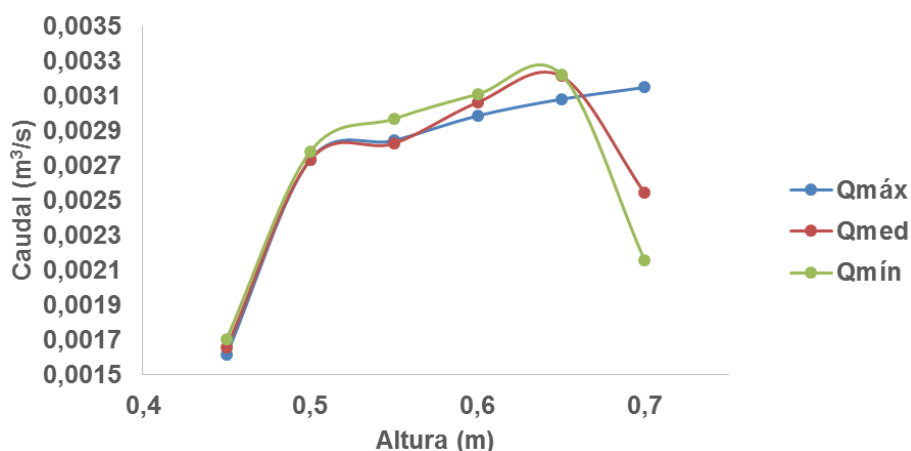


Figura. 9 Relación caudal altura de agua en el tanque para la Variante III

En esta variante el periodo inicial es el más extendido entre los tres tratamientos ya que como explicamos anteriormente la columna de agua es menor y el cebado de la tubería se demora más, prolongando así el periodo en que ocurren las descargas.

4.4. Valoraciones estadísticas de las variables.

En el transcurso del documento hemos ido realizando observaciones a diferentes aspectos desde la óptica de la estadística descriptiva, a modo de resumen podemos consultar el anexo 6 donde se muestra los valores máximos y mínimos para todos los parámetros contenidos en la investigación.

Uno de los aspectos fundamentales es la media de los datos con que se trabaja en el TDS, en la tabla 3.7 se puede observar la media para cada variable dependiente determinada en la investigación, así como su desviación típica. Es importante destacar que todos los tratamientos y variables difieren entre sí; solo existe igualdad en el gasto de entrada para el $Q_{máx}$ y en el gasto de entrada para el caudal mínimo.

En parámetros como el tiempo de vaciado se puede observar que existe una gran desviación típica para todas las variantes y caudales, existiendo rangos de hasta 50 valores con respecto a la media. Como es lógico el coeficiente de variabilidad es elevado en este parámetros, sin embargo la determinación de los caudales de entrada al TDS presenta una variabilidad típica de 0,02 demostrando la exactitud y permanencia del caudal. Para este parámetro el coeficiente de variación no sobrepasa el 7% por lo que se puede valorar de bueno y con una alta fidelidad en los datos.

Tabla 3.7 Aspectos de la estadística para los parámetros determinados en el TDS.

<i>Q máx</i>	t. Llenado		t.Vaciado		Ciclo total		G. Entrada	
	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V
Vart. I	116,5 ± 1,5c	1,3	157±50,6c	32,2	253,3±43,5c	17,2	1,23±0,08ab	6,5
Vart II	77,2±2,4b	3,1	83,4±14,1b	16,9	161,7±3,5b	2,1	1,37±0,09b	6,1
Vart III	55,6±2,0a	3,6	46,5±5a	10,7	105,±3,9a	3,7	1,16±0,2a	2,9
<i>Q med</i>	t. llenado		t.Vaciado		Ciclo total		G. Entrada	
	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V
Vart I	194,2±0,9a	0,4	80,2±0,9a	1,11	276,4±10,2c	3,6	0,73±0,02b	3,2
Vart II	206,1±2,7c	1,3	99,6±26,7c	26,8	261,6±2,4b	0,9	0,50±0,02a	3,6
Vart III	106,7±16,3a	15,2	38,1±1,6a	4,3	123,6±1,7a	1,3	0,71±0,04b	5,8
<i>Q mín</i>	t. llenado		t.Vaciado		Ciclo total		G. Entrada	
	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V	Media ± S	C.V
Vart I	275,0±15,2b	5,5	89,1±1,4b	1,6	374,±15,5b	4,1	0,51±0,02b	3,1
Vart II	314,4±8,9c	2,8	90,8±28,2c	31,1	377,1±34,1b	9,0	0,32±0,008a	2,7
Vart III	126,4±2,4a	1,9	45,3±4,3a	9,5	171±5,4a	3,1	0,49±0,02b	5,3

Leyenda: Vart #: Variante o tratamiento. *Q máx*: caudal máximo. *Q med*: caudal medio. *Q mín*: caudal mínimo. **t. Llenado**: Tiempo de llenado. **t. Vaciado**: Tiempo de vaciado. **G. Entrada**: Gasto de entrada al dispositivo. **C.V**: Coeficiente de variación. **Media ± s**: Media más menos la desviación típica

4.5. Valoración Económica.

Para la realización del TDS se utilizaron materiales de reciclaje de la industria, muchos de estos adquieren un valor mínimo por el proceso de devaluación según su vida útil, no obstante en la tabla 3.8 se visualizan valores en moneda nacional de todos los materiales empleados, es válido aclarar que muchos de los precios son de mercados no oficiales. Se puede apreciar que el costo es bajo y de fácil adquisición comparado con las tecnologías de punta existentes para crear intermitencias en el riego superficial.

Tabla 3.8. Costo general para la construcción del TDS.

Recursos	U	Costo total (MN)
Costos de materiales empleados		
Bidón metálico para envasar miel	uno	30.00
Tubo metálico de 50,8 mm	3 m	19.90
Angulares	3 m	4.50
Tubo metálico 10 mm	0,80 m	2.00
Llave de paso	Uno	150.00
Tubo metálico 101.6 mm	1 m	14.42
Codo metálico 50,8 mm	1	30.00
Tapón metálico 50,8 mm	2	40.00
Costos de insumos y maquinarias utilizadas.		
Electrodos para soldar (7018-AWSE)	16	17.60
Oxígeno	8.50 kg	20.00
Acetileno	6 kg	30.00
Alambre de cobre	0.3 kg	10.00
Gasto en salario.		
Salario de un obrero (Soldador)	3 horas	6.90
Salario de un obrero (Maquinaria)	3 horas	6.80
Total		382.12

5. CONCLUSIONES

- El dispositivo TDS diseñado y construido con innovación local, presenta una capacidad de almacenamiento de 230 L. Compuesto de tres tomas internas de agua que permiten regular los tiempos de funcionamiento, así como el volumen de entrega para el riego intermitente y funcionar a un diverso rango de caudales de entrada.
- Existe una estrecha relación entre los tiempos de llenado y descarga con respecto al caudal de entrada del dispositivo, siendo esta inversamente proporcional. Resultando que a medida que aumentamos el tiempo de llenado es menor los volúmenes entregados por el dispositivo.
- El funcionamiento de cada una de las variante en el TDS es totalmente diferente a las demás, existe una alta estabilidad y precisión en el trabajo del dispositivo, lográndose hasta volúmenes de entrega total para el riego de 307 litros en cada intermitencia.

6. RECOMENDACIONES

- Continuar desarrollando nuevas investigaciones del TDS en aplicaciones de campo y diversos cultivos.
- Realizar actividades de capacitación en cooperación con la ANAP del territorio para generalizar el uso de este dispositivo en la comunidad.
- Divulgar los resultados obtenidos en la presente investigación en eventos y jornadas científicas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A, T.; J, T. y ROSALES, O. Agua, gas y agroindustria. Gestión sostenible de agua para riego agrícola en santa cruz [CD-ROM]. Bolivia, 17 noviembre 2006.
- AHMER, M. *Surge flow irrigation as a farm practice for cotton production. Journal of Agriculture Research*, mayo 1998, vol. 17, nº 25, pp. 659-669.
- ALCAIDE, M. Riegos por superficie. Centro de Estudios Hidrotécnicos Ciego de Ávila, Cuba: UNICA, 2005.
- ALITE, J. Reducción del cultivo de la cebolla en toda la zona [en línea]. España [Consulta: 11 julio 2006]. 21 abril 2011 Disponible en: <http://www.laverdad.es/albacete/pg060729/prensa/noticias/>.
- ALONSO, F. y RODRÍGUEZ, M. Desarrollo de una tecnología para el mejoramiento del riego por surco asociado al cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.). En: ANAP. Fórum de ciencia y técnica. Sancti Spíritus, Cuba: ANAP, 2011.
- ANGEL, F. Cultivo de la Cebolla [en línea]. España, 20 marzo 2007 [Consulta: 25 febrero 2011]. Disponible en: <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/cebolla>.
- FERNANDA, A. cultivo de la Cebolla [en línea]. México, 16 mayo 2007 [Consulta: 23 diciembre 2010]. Disponible en: <http://www.articulos.es/Jardineria/cultivo-de-la-cebolla.html>.
- BAHNASAWY, A.; EL-HAADAD, Z.; EL-ANSARY, M. y SOROUR, H. *Physical and mechanical properties of some Egyptian onion cultivars. Journal of Food Engineering*, enero 2004, vol. 62, nº 3, pp. 255-261.
- BARREIRO. C.: Estudio de diferentes manejos del agua (estrés hídrico) en el cultivo del boniato (*Ipomoea batata* L) y su influencia en la incidencia de Tetuán (*Cylas formicarius* Fab.). Informe final proyecto nacional CITMA 002-0008. Universidad de Ciego de Ávila Cuba. (2000).
- BASÁN, M. Curso de Aforadores de corrientes de agua [CD-ROM]. INTA-EEA Santiago del Estero, 05 diciembre 2008.
- BELÁUSTEGUI, S. Introducción al riego por caudal discontinuo [en línea]. Argentina, 27 abril 2010 [Consulta: 25 octubre 2013]. Disponible en: www.pyrargentina.com.ar.

- BETANCOURT, P.; OROPEZA, J.; FIGUEROA, B.; ORDAZ, V. y ORTIZ, C. Pérdidas de Suelo y Potencial Hidrológico en parcelas con Cobertura Vegetativa de Especies Forrajeras. TIERRA Latinoamericana. Universidad Autónoma de Chipango, México, julio 2004, vol. 18, nº 003, pp. 263-275.
- Bishop, A. A; Walker, W. R; Allen, N. L; y Poole, G. J. "Furrow advance rate under surge flow systems." *Journal of the irrigation and Drainage Division*, (1981) ASCE, Vol. No. IR3 paper 16502: 257-263
- BRICE, J.; CURRAH, L.; MALINS, A. y BANCROFT, R. *Onion storage in the tropics. Onion Newsletter for the Tropics*, mayo 1997, vol. 3, nº 8, pp. 10-14.
- BROWN, O. Aplicación de métodos numéricos al diseño del riego por surcos en suelos ferralíticos. En: Instituto Nacional de Riego y Drenaje. Memorias del Congreso Internacional de Riego y Drenaje Cuba riego. Palacio de las conversiones, Ciudad de la Habana, Cuba: INRD, 2003.
- BROWN, O. Mejoramiento del diseño y manejo del riego por surcos con flujo continuo e intermitente en suelos ferralíticos, mediante la utilización de un modelo matemático simplificado. Tesis de Doctorado. Ciego de Ávila, Cuba: UNICA, 2000. h. 118.
- BROWN, O. Modelos matemáticos para la simulación de riego superficial. Ciego de Ávila, Cuba: Informe final del PNCT 00200006. CEH-UNICA, 2006.
- BROWN, O.: Curso de Postgrado sobre Riego Superficial. Centro Universitario de Sancti Spiritus, "José Martí Pérez" del 15 al 19 de septiembre 2000.
- BROWN, O; ABREU, E; RODRÍGUEZ, B, Y CONCEPCIÓN, I. " Evaluación y análisis de la infiltración en el riego por surcos." II Evento internacional Tecnologías de Riego y Drenaje en la Agricultura Actual. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, (1997).
- BROWN, O; GONZÁLEZ, J; ABREU, E; RODRÍGUEZ, B, Y CONCEPCIÓN, I. "SIRIS: modelo matemático para la simulación del riego por surcos. "Evento provincial Infoagua 99". UNAICC. Ciego de Ávila, Cuba (1999).

- CABANILLAS, N. El agua subterránea y su importancia [en línea]. Conferencia regional para África Johannesburgo, Sudáfrica, Ordenación Integrada de los Recursos Hídricos y Seguridad Alimentaria en África, 01 marzo 2000.
- CÁCERES C, K., Diseño y construcción de un dispositivo de control para la aplicación del riego intermitente. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.1999.h 108.
- CAMACHO, E. Tendencias actuales en el riego. Ciego de Ávila, Cuba: Curso pre doctoral. 10 de noviembre de 2005. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila. 2005.
- CAMEJO E.: Estudio de diferentes manejos del agua (stress hídrico) en el cultivo del boniato (*Ipomoea batata L*) y su influencia en la incidencia de Tetuán (*Cylas formicarius Fab.*). Informe final proyecto nacional CITMA 002-0008. Universidad de Ciego de Ávila Cuba. 2000.
- CAMEJO, E. Relación Agua-Suelo-Planta-Clima. Curso de Maestría en Riego y Drenaje, Centro de Estudios hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila: UNICA, 2006.
- CAMEJO, L. Relación- Agua - Suelo -Planta - Atmósfera [CD-ROM]. Ciego de Ávila, Cuba: UNICA, 15 octubre 2013.
- CARBAJAL LL, CARLOS M. Metodología para el mejoramiento del uso del agua de riego empleando el sistema de riego intermitente. Tesis de Maestría. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. 2004. 12-15 p.
- CAROLINA, M.; CATIGLIONI, M.; PAZ, J.; WILSON, M. y OSZUS, J. Propiedades hidrológicas edáficas bajo diferentes secuencias de cultivos en siembra directa. Barcelona, España: INTA- EEA Panamá, 2009.
- CATALÁN, E. A.; VILLA, M.; INZUNZA, M. A.; ROMÁN, A. y GONZÁLEZ, M. L. Modelación estocástica del riego por melgas a escala regional. Agro faz [CD-ROM], 01 noviembre 2009, vol. 9, nº 3. 54. ISSN 1665-8892.
- CHEREQUE, W. Mecánica de fluidos I curso semestral para estudiantes de ingeniería civil. Lima, Perú: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU, 1987.

- CITMA. Información para el desarrollo, El mundo en hechos y cifras. Riego y drenaje Estado actual y tendencias mundiales. La Habana, Cuba: Editorial Academia, 1999. pp. 1-66.
- CLEMENTE, V. El cultivo de la cebolla [en línea]. España, 22 marzo 2006 [Consulta: 13 mayo 2010]. Disponible en: <http://areaweb.net/clementeviven/?p=97>.
- COOKAROUND. Cebolla (*Allium cepa* L). *Home-hierbas-aromas y especias*. Berlín: CBC, 2003. p. 10.
- CORONA, Y.; BROWN, O. N. y TRUJILLO, B. Diseño Hidráulico de Sifones para el bombeo de agua en canales .I: Sistematización Teórica. Trabajo de Diploma. Ciego de Ávila, Cuba: Universidad de Oriente Facultad de construcciones Centro de Estudios Hidrotécnicos, 2007.
- Cruz Lucho, B; E. Diseño hidráulico del sifón acueducto de Ccochancay proyecto de irrigación Yaurihuirí, Perú, 2005.
- DELGADILLO, O. Algunos apuntes conceptuales sobre los métodos y tipos de riego campesino y su relación con el diseño de sistemas de riego. En: CORA 2000. Ponencia presentada en el Seminario Internacional CORA. Cajamarca, Perú; noviembre: Centro Agua, 2000.
- ECORIEGO. Riego por Caudal Discontinuo [en línea]. Córdoba, Argentina: Divulgación técnica, 12 febrero 2008 [Consulta: 14 marzo 2011]. Disponible en: <http://www.argenpapa.com.ar>.
- ESCALONA, C. Producción de semillas sexuales de cebollino en condiciones tropicales. 1ra ed. La Habana, Cuba: INIFAT. Liliana Dimitrova, 1998. p. 114.
- FAO. El agua y la seguridad alimentaria [en línea]. Italia, 14 abril 2004 [Consulta: 20 febrero 2005]. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/j0083s/j0083s00.pdf>.
- FERNÁNDA, A. Cultivo de la Cebolla [en línea]. México, 16 mayo 2007 [Consulta: 23 diciembre 2010]. Disponible en: <http://www.articulos.es/Jardineria/cultivo-de-la-cebolla.html>.
- FERNÁNDEZ, F. Aspectos relevantes del cultivo de cebolla [en línea]. Chile, 14 mayo 2002 [Consulta: 16 diciembre 2010]. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/cebolla/0002art_areayproduccion.htm.

- FUENTES, FELICITA; ABREU, E.; FERNÁNDEZ, E. Y CASTELLANOS MAGALY.: Experimentación agrícola. 2da Ed. Félix Varela. El Vedado. Ciudad de La Habana, Cuba. 1999.
- GALVÁN, G. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L). Monte Video, Uruguay: Universidad de la República- Facultad de Agronomía, 2008. p. 42.
- GARBI, M. El cultivo de la cebolla. Argentina: Universidad Nacional de Luján- Departamento de Tecnología, 2004. p. 12.
- GARCÍA, E. y FONTOVA, M. Ingeniería de riego [CD-ROM]. La Habana, 16 abril 1998.
- GARCÍA, N. Modelación matemática del riego por superficie. Tesis de Doctorado. México: UNAM, 1994. h. 152.
- GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J. y LÓPEZ, T. Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias [en línea], 29 enero 2010, vol. 19, nº 1 [Consulta: 13 enero 2014]. Disponible en: www.unah.edu.cu.
- GONZÁLEZ, P. Introducción al riego y drenaje. 1ra ed. La Habana, Cuba: Convenio Bilateral Cuba- Venezuela IIRD, 2008. pp. 1- 66.
- GUENKOV, G. Fundamento de Horticultura Cubana. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial Revolucionaria, 1969.
- HERNÁNDEZ, A.; MORELL, F.; ASCANIO, M.; BORGES, Y.; MORALES, M. y YONG, A. Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (*Nitisoles ródicos éutricos*) de la provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, mayo 2006, vol. 2, nº 27, p. 53.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J. M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUIZ, J.; JAIMEZ, E.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.; GONZÁLEZ, J. E.; ORELLANA, R.; PANEQUE, J. y MESA, Á. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Primera ed. Ciudad de La Habana: Agrifon Ministerio de la Agricultura, 1999. p. 64. ISBN 959-246-022-1.
- HERNÁNDEZ, E. y HERNÁNDEZ S. Reservas económicas de la preparación del suelo. Revista Cañaveral. 5(1): 8 - 11). 1999.

- Hidalgo, V; J. Padilla; J. L. (1997) "Sifón autocebante de garganta. Estudio hidrométrico de los prototipos de laboratorio y en explotación agrícola". Tesis de Ingeniería Hidráulica. ISPJAE. CIH. Ciudad de la Habana, Cuba.
- HUERRE, C. y CARABALLO, N. Horticultura. Segunda ed. México: Pueblo y Educación, 1996. p. 140.
- INIA. "Reseña histórica". Organismo Público Descentralizado de Ministerio de agricultura. Perú, 2005.
- IPGRI. Descriptores del *Allium ssp.* Roma, Italia: Instituto Internacional de Recursos Fito genéticos, Roma, Italia; Programa Europeo de Cooperación para las Redes de Recursos Genéticos de Cultivos (ECP/GR), Centro Asiático de Investigación y Desarrollo Vegetal, Taiwán, 2001, nº 1.
- ISMAIL, S. *Effectiveness of surge flow irrigation in Egypt: Water use efficiency in field crop production. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University and Unescoihe institute for water Education, the Netherlands.* 2004.
- ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. Principios y Aplicaciones del Riego. 2da ed. Barcelona, España: Reverté, S.A, 1965. pp. 110-115.
- KARMELL, D. *Procedure for evocation and improvement of irrigation systems.* Haifa, Israel: IIHRS, 1978.
- KIRILOVA, I. y PAVÓN, C. *Hidromel oraciones de Riego.* 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial Ministerio de Educación Superior, 1986.
- LARDIZABAL, R. El cultivo de la cebolla-Manual de producción. Primera ed. MCA, Honduras: Entrenamiento y Desarrollo Agrícola, 2007. p. 38.
- LESCAY, E. y MOYA, C. Influencia de los factores climáticos sobre algunas variables morfo agronómicas en la producción de bulbos de cebolla (*Allium cepa*, L) en la región Oriental de Cuba. Cultivos Tropicales, noviembre 2006, vol. 27, nº 4, pp. 73-75.
- LEVINE, E. y WASHBURME, J. Investigación de Suelo: una investigación de aprendizaje de *globe*. 1ra ed. NASA/Centro *Godbard* de Vuelo Espaciales/*Grenbelt*, Maryland. USA: GLOBE, 1997. p. 25.

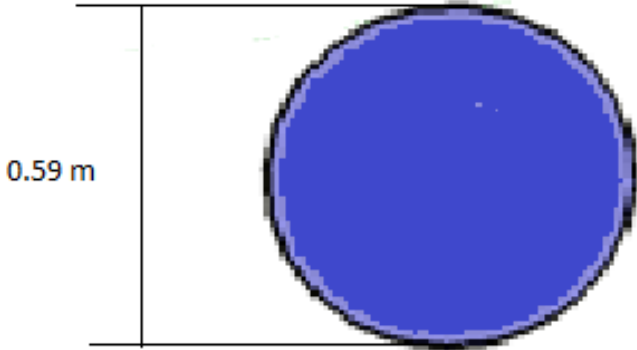
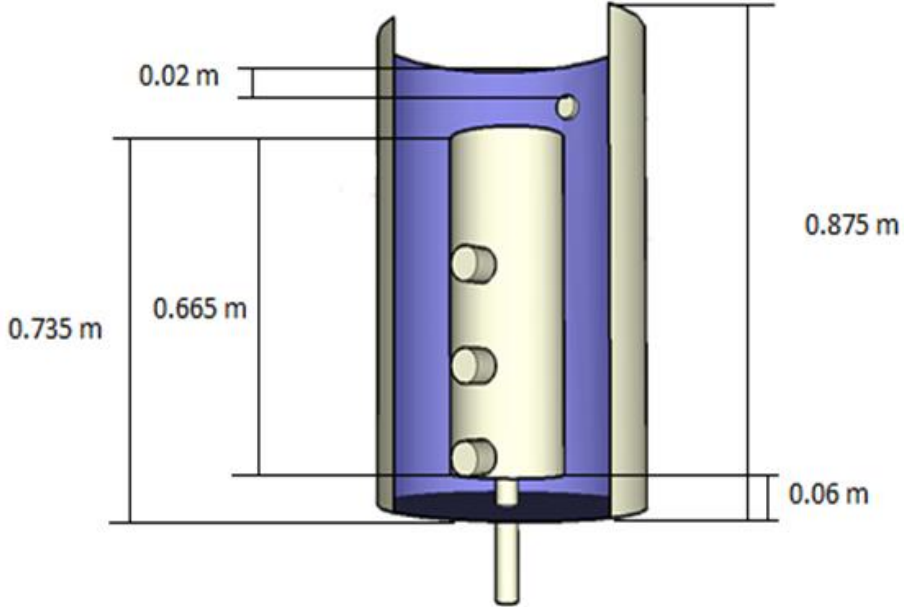
- LORENZO, E. Obtención de semilla botánica de cebolla multiplicadora (*Allium cepa* variedad *aggregatum*, *Donn.*). Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad de Ciego de Ávila. 2006. p 85
- Machev, P. Agro economía y Desarrollo, Volumen 1 No.3 Ministerio de la Agricultura. La Habana, (1981)
- MADRIGALES, N. R. Evaluación de tres métodos de riego por superficie durante la etapa de elongación de la caña de azúcar (*Saccharumsp*) bajo condiciones de *Tiquisate*, Escuintla. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Instituto de investigaciones agronómicas, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. h. 123.
- MARTÍN, N. y DURAN, J. El Suelo y su Fertilidad. 1ra ed. La Habana, Cuba: UNAH, 2008. p. 189.
- MICUCCI, F.; TABOADA, M. y GIL, R. El agua en la producción de cultivos extensivos: El suelo como un gran reservorio eficiente [CD-ROM]. Argentina, 17 mayo 2006.
- MORÁBITO, J. A. Desempeño del riego por superficie en el área del río Mendoza, eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento en un marco sustentable. Tesis de Maestría. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencia Agrarias, 2005. hh. 12-28.
- MUÑOZ, L. y PRATS, A. Caribe 71,}, julio 2004, vol. 25, nº 3, pp. 59-62.
- NARVATE, R. y HUACHOS, R. Necesidades de agua y evaluación de los sistemas de riego intermitente y continuo en el cultivo de Brócoli. Universidad Nacional Agraria La Molina: UNALM, 2007, nº 4.
- P&R Argentina S.A. Riego por Caudal Discontinuo Hoja Técnica [en línea]. Av. Roque Sáenz Peña 974 9º A, CP (1035) Ciudad de Buenos Aires. Argentina: P&R Argentina, 15 abril 2008 [Consulta: 11 marzo 2011]. Disponible en: <http://www.prsurge.com/espanol>.
- PACHECO, J.; ALONSO, N.; PUJOL, P. y CAMEJO, E. Riego y Drenaje. Segunda ed. La Habana, Cuba: Félix Varela, 2006. p. 170. ISBN 959-258-999-2.

- PEÑA, K. Sistema de Siembra con Cobertura en el Cultivo de Cebolla (*Allium cepa* L.). Efectos sobre los rendimientos. Trabajo de Diploma. Sancti Spíritus, Cuba: UNISS, 2005. h. 49.
- PÉREZ, R. y CID, G. El Riego Superficial. La Habana, Cuba: Convenio Bilateral Cuba - Venezuela. IIRD, 2008. p. 49.
- QUINTERO, E.; GIL, V.; RÍO, H.; MARTÍNEZ, M. y DÍAZ, M. El Fitomejoramiento participativo del fríjol y su impacto en la introducción de caracteres positivos a los sistemas agrícolas de Villa Clara. Rev. Cubana Centro Agrícola, julio 2004, vol. 41, nº 3.
- Reca, J. L. Curso pre doctoral. Universidad de Córdoba-UNICA. 2005
- RIOS, T. Comportamiento de la producción de cebolla (*Allium cepa* L.) sembrada en suelos degradados del ecosistema Banao. Tesis de Maestría. UNICA: Universidad de Ciego de Ávila, 2004. h. 82.
- RODRÍGUEZ, J. Manejo y control de malezas en Cebolla y Ajo. 1ra ed. Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, Colombia: Unidad de Malezas, CRS, 2004.
- RODRÍGUEZ, M. y DELGADO, O. Mejoramiento del riego por surcos con la válvula flucon dn150, en suelo ferralítico rojo lixiviado en la localidad Banao. Trabajo de Diploma. Sancti Spíritus, Cuba: UNISS, 2013.
- RODRÍGUEZ, M. y DELGADO, Y. B. Mejoramiento del riego por surcos en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) con el uso de un Tanque Descarga por el Fondo. Trabajo de Diploma. Sancti Spíritus, Cuba: UNISS, 2011.
- RODRÍGUEZ, M. y SANTANA, M. Evaluación de la modalidad de riego intermitente en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) en Banao, Sancti Spíritus. Trabajo de Diploma. UNISS, Cuba: Departamento de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", 2003. h. 67.
- RODRÍGUEZ, M.; SANTANA, M.; BROWN, O. y ALONSO, F. Mejoramiento de riego por surcos, continuo e intermitente, en suelo ferralítico rojo lixiviado en el sistema productivo Banao. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias [en línea], 01 marzo 2014, vol. 23, nº 1 [Consulta: 19 abril 2014]. Disponible en: www.unah.edu.cu. ISSN 1010-2760.

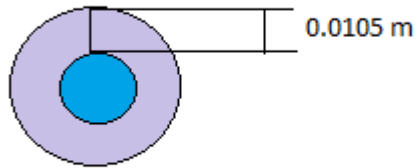
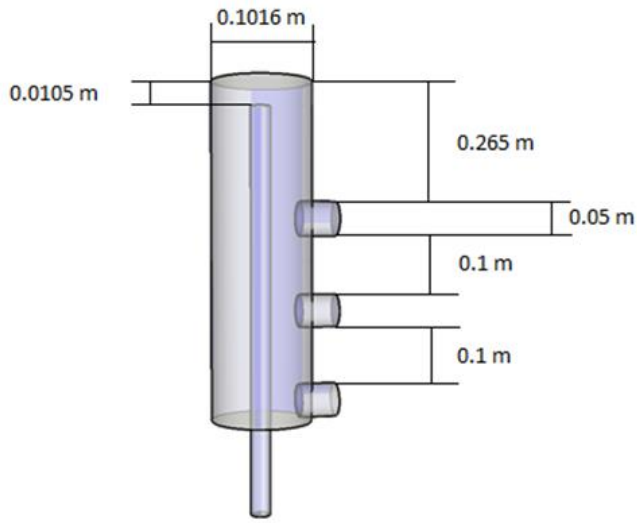
- RONDA, R. Producción de semillas de cebolla en condiciones de Cuba. Tesis de Maestría. Ciego de Ávila, Cuba: UNICA, 2004. h. 66.
- ROQUÉ, C. Caudal discontinuo, la última vanguardia en la técnica del riego [en línea]. Argentina, 10 marzo 2009 [Consulta: 15 febrero 2011]. Disponible en: <http://www.prsurge.com/espanol/Riego/intermitente.html>.
- ROSALES, P. Cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) [En línea]. México: Copyright, 14 mayo 2003 [Consulta: 10 diciembre 2010]. Disponible en: [http://www Infoagro.com](http://www.Infoagro.com).
- SANTANA, M. Tecnología sostenible para el mejoramiento del riego por surcos y protección del suelo en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) en condiciones de pre montaña. Tesis de Doctorado. UNICA: Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, 2006. h. 126.
- SANTANA, M. Tecnología sostenible para el mejoramiento del riego por surcos y protección del suelo en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) en condiciones de pre montaña. Tesis de Doctorado. UNICA: Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, 2007. h. 126.
- Selim, E.M., A.A. Mosa, A.M. El-Ghamry. 2009. *Evaluation of humic substances fertigation through surface and subsurface drip irrigation systems on potato grown under Egyptian sandy soil conditions. Agricultural Water Management* 96:1218–1222.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. “Sistemas de riego superficial y presurizado” [CD-ROM]. Ecuador, 05 septiembre 2011.
- VIERA, R. A.; RODRÍGUEZ, M. y SANTANA, M. Mejoramiento de la tecnología del riego por surcos, asociado al cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) en suelo ferralítico rojo lixiviado (FRL) de la comunidad Banao. Tesis de Maestría. Sancti Spíritus, Cuba: ISPJAE-UNISS, 2013. h. 98.
- VIERA, R. y RODRÍGUEZ, M. Caracterización socio- productiva del modelo de agricultura existente en el sistema cebollero Banao. Tesis de Diploma. Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez" UNISS Departamento de Ciencias Agropecuarias: UNISS, 2006. h. 86.

ANEXOS

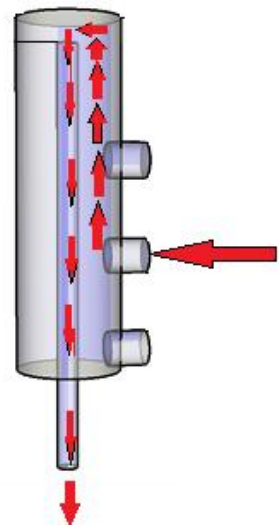
Anexo No. 1



Anexo No. 2



Anexo No. 2a



Anexo No. 3

Modelo curvilíneo para la Variante I a Q máx.							
Variable Independiente: Tiempo (min)							
Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R ²)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m ³ /s)	Linear	0,890946	0,793785	26,945179	0,001266	$y = -0,0002x + 0,0315$	0,002412
	Logarítmica	0,677369	0,458829	5,934910	0,045011	$y = -0,004\ln(x) + 0,0373$	0,003908
	Potencial	0,646246	0,417634	5,019923	0,060032	$y = 0,043x^{-0,169}$	0,193715
	Exponencial	0,860607	0,740644	19,989972	0,002897	$y = 0,0331e^{-0,007x}$	0,129274

Modelo curvilíneo para la Variante I a Q med.							
Variable Independiente: Tiempo (min)							
Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R ²)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m ³ /s)	Linear	0,983643	0,967553	268,373737	0,000000	$y = -0,0001x + 0,0333$	0,000949
	Logarítmica	0,853895	0,729136	24,227001	0,000822	$y = -0,005\ln(x) + 0,0425$	0,002741
	Potencial	0,827808	0,685266	19,595590	0,001655	$y = 0,0496x^{-0,187}$	0,122952
	Exponencial	0,974877	0,950385	172,395843	0,000000	$y = 0,0346e^{-0,006x}$	0,048817

Modelo curvilíneo para la Variante I a Q mín.							
Variable Independiente: Tiempo (min)							
Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R ²)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m ³ /s)	Linear	0,969025	0,939009	92,37	0,000073	$y = -0,0002x + 0,0325$	0,001177
	Logarítmica	0,833691	0,695041	13,674774	0,010113	$y = -0,004\ln(x) + 0,0394$	0,002631
	Potencial	0,814465	0,663354	11,822862	0,013827	$y = 0,0439x^{-0,163}$	0,113424
	Exponencial	0,961829	0,925116	74,123404	0,000135	$y = 0,0334e^{-0,007x}$	0,053495

Anexo No. 4

Modelo curvilíneo para la Variante II a Q máx.

Variable Independiente: Tiempo (min)

Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R^2)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m^3/s)	Linear	0,29	0,083	0,54	0,49	$y = -5E-05x + 0,0287$	0,004
	Logarítmica	0,05	0,003	0,02	0,90	$y = 0,0002\ln(x) + 0,0259$	0,004
	Potencial	0,09	0,008	0,05	0,83	$y = 0,0249x^{0,0166}$	0,176
	Exponencial	0,25	0,064	0,41	0,55	$y = 0,0282e^{-0,002x}$	0,171

Modelo curvilíneo para la Variante II a Q med.

Variable Independiente: Tiempo (min)

Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R^2)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m^3/s)	Linear	0,92	0,84	20,79	0,01	$y = -0,0002x + 0,0354$	0,00
	Logarítmica	0,74	0,55	4,96	0,09	$y = -0,004\ln(x) + 0,041$	0,00
	Potencial	0,72	0,52	4,40	0,10	$y = 0,0447x^{-0,146}$	0,14
	Exponencial	0,90	0,81	16,99	0,01	$y = 0,0365e^{-0,009x}$	0,09

Modelo curvilíneo para la Variante II a Q mín.

Variable Independiente: Tiempo (min)

Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R^2)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m^3/s)	Linear	0,66	0,44	3,90	0,10	$y = -0,0001x + 0,032$	0,003069
	Logarítmica	0,46	0,21	1,36	0,29	$y = -0,002\ln(x) + 0,0344$	0,003630
	Potencial	0,47	0,22	1,38	0,29	$y = 0,0358x^{-0,078}$	0,144412
	Exponencial	0,66	0,44	3,93	0,10	$y = 0,0325e^{-0,005x}$	

Anexo No.5

Modelo curvilíneo para la Variante III a <i>Q</i> máx.							
Variable Independiente: Tiempo (min)							
Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R ²)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m ³ /s)	Linear	0,84	0,71	4,87	0,16	$y = -7E-05x + 0,004$	0,00
	Logarítmica	0,69	0,48	1,87	0,30	$y = -8E-04\ln(x) + 0,005$	0,00
	Potencial	0,66	0,44	1,59	0,33	$y = 0,0076x^{-0,412}$	0,48
	Exponencial	0,82	0,67	4,04	0,18	$y = 0,0047e^{-0,033x}$	0,37

Modelo curvilíneo para la Variante III a <i>Q</i> med.							
Variable Independiente: Tiempo (min)							
Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R ²)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m ³ /s)	Linear	0,77	0,59	2,87	0,23	$y = -7E-05x + 0,0039$	0,00
	Logarítmica	0,59	0,35	1,07	0,41	$y = -9E-04\ln(x) + 0,0048$	0,00
	Potencial	0,60	0,36	1,14	0,40	$y = 0,0101x^{-0,578}$	0,80
	Exponencial	0,77	0,60	2,95	0,23	$y = 0,0054e^{-0,049x}$	0,63

Modelo curvilíneo para la Variante III a <i>Q</i> mín.							
Variable Independiente: Tiempo (min.)							
Dependiente	Modelo	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación (R ²)	F	Sig. F	Ecuación	Error típico de la estimación
Caudal de salida (m ³ /s)	Linear	0,932731	0,869986	20,07	0,02	$y = -7E-05x + 0,0047$	0,005
	Logarítmica	0,884826	0,782917	10,82	0,05	$y = -0,001\ln(x) + 0,0067$	0,007
	Potencial	0,760540	0,578422	4,12	0,14	$y = 0,0121x^{-0,526}$	0,451
	Exponencial	0,869921	0,756763	9,33	0,05	$y = 0,0058e^{-0,033x}$	0,343

Anexo No. 6

Q máx	Análisis de la estadística															
	t. llenado				t.Vaciado				Ciclo total de trabajo				Gasto de entrada			
	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín
VI	116,54	1,55292	118,6	114,3	157,06	50,600597	258,9	125,3	253,33	43,588735	374,6	230,6	1,23	0,0803351	1,42	1,14
VII	77,29	2,41957	80,9	74,0	83,47	14,150622	116,8	61,8	161,75	3,5141776	169,3	157,8	1,38	0,0853268	1,52	1,23
VIII	55,69	2,05774	57,8	52,3	46,55	5,0009443	59,3	41	105,07	3,9191977	112,9	100,2	1,17	0,2810966	1,38	0,41

Q med	Análisis de la estadística															
	t. llenado				t.Vaciado				Ciclo total de trabajo				Gasto de entrada			
	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín
VI	194,2	0,92616	195,2	191,9	80,22	0,89542	81,8	78,7	276,44	10,2015	304	264,8	0,73	0,02395	0,775	0,694
VII	206,19	2,76463	211,5	203	99,66	26,7817	119,4	60,2	261,6	2,46621	266,2	258,5	0,503	0,01859	0,521	0,469
VIII	106,75	16,3208	122,7	86,2	38,1	1,64384	40,4	34,6	123,68	1,69561	126,4	121,1	0,710	0,04179	0,768	0,642

Q mín	Análisis de la estadística															
	t. llenado				t.Vaciado				Ciclo total de trabajo				Gasto de entrada			
	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (S)	Máx	Mín
VI	275,04	15,2842	290,8	252,4	89,19	1,447948	91,3	86,9	374,08	15,5848	417,0	362,3	0,5117	0,01601	0,538	0,49
VII	314,49	8,95959	323,8	297,1	90,81	28,28692	119,6	61,0	377,14	34,1744	425,5	316	0,3268	0,00884	0,345	0,311
VIII	126,41	2,43696	129,5	122,6	45,32	4,320442	52,6	40,7	171,01	5,39803	179,5	161,9	0,4949	0,02624	0,521	0,452

Anexo No. 7

Variante	Análisis de la Estadística para volumen de salida											
	Q máx				Q med				Q mín			
	Media	Desviación Típica (s)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (s)	Máx	Mín	Media	Desviación Típica (s)	Máx	Mín
I	307	11,72	326	290,2	225,74	10,67	241,2	212,0	114,03	17,76	140,3	69,6
II	230,9	2,27	234	227,3	144,64	1,40	146,4	143,0	103,09	7,05	116,1	95,3
III	204,2	2,61	207,6	200,0	131,73	1,57	133,9	129,0	86,97	2,45	90,7	83,0