

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO AGROPECUARIO

EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE  
DESEMPEÑO DEL RIEGO POR SURCOS CON EL  
USO DEL TANQUE DE DESCARGA POR SIFÓN



**Autor:** Osmel Oliva Domínguez.

Santis Spíritus. 2016

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO AGROPECUARIO

## TRABAJO DE DIPLOMA

**Título:** EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL RIEGO POR SURCOS CON EL USO DEL TANQUE DE DESCARGA POR SIFÓN

**Autor:** Osmel Oliva Domínguez.

**Tutor:** MSc. Rubén A. Viera Marín.

Santis Spíritus. 2016



***“La naturaleza inspira, cura, consuela, fortalece y prepara para la virtud al hombre”.***

**José Martí.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A toda mi familia, por su contribución, entendimiento y apoyo. Especialmente a mis padres: Lidea Ester y Osmany, quienes supieron conducirme y ayudarme no solo por las virtudes sino también por las críticas en el momento oportuno.

Para llegar hasta aquí conté con el apoyo desinteresado y exigente de: MSc. Rubén A. Viera Marín, tutor insuperable y de gran ayuda para esta investigación. Para él un agradecimiento eterno.

Agradezco también a los profesores de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” que en su momento supieron ayudarme y guiarme por los caminos del saber y principalmente al Dr.C. Manuel Rodríguez González.

A todos

*Muchas gracias*

## **DEDICATORIA**

A mis padres por estar siempre presente y brindarme su apoyo incondicionalmente.

A mi esposa por formar parte de mi vida y estar presentes en mí en todo momento.

A toda mi familia, que en todo momento han sabido ayudarme.

A la Revolución Cubana por haberme posibilitado los privilegios de estudiar y poder ser el profesional que me propuse ser.

A todos

Muchas gracias

## Síntesis

El presente trabajo se realizó en la finca del productor Ángel Bermúdez, perteneciente a la CCSF "10 de Octubre", ubicada en la carretera del Jibaro al Sur de la ciudad de Sancti Spíritus, en un suelo Gley Vértico sin Carbonato, bajo condiciones de laboreo mínimo. Para la evaluación de los indicadores de desempeño del riego intermitente con el uso del tanque de descarga por sifón (TDS) Se empleó un diseño de parcelas en franjas. El tratamiento A esta definido por un volumen de diseño del TDS de 103 L; el B de 144 L; el C de 230 L y el tratamiento testigo mediante riego con caudal continuo. Se busca como objetivo evaluar el tiempo de riego, infiltración (Z) en el surco, determinar la velocidad de avance, lámina total aplicada, la eficiencia de aplicación y el aforo de agua en cuatro eventos de riego. El riego intermitente redujo hasta 10 veces el tiempo de avance, la lámina infiltrada del testigo al inicio es 2,71 veces mayor que al final del surco, el tiempo de aplicación se reduce 7,6 veces con respecto al método tradicional, un tiempo de oportunidad 26 veces menor en comparación con los resultados alcanzados en el riego continuo. La velocidad de avance estuvo sobre los  $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . La mejor lámina total aplicada ( $L_a$ ) para todo los tratamientos la alcanzas el testigo que es 6,65 veces mayor al tratamiento (B) riego intermitente. La eficiencia de aplicación siempre estuvo por encima del 80%, destacándose el C, valores estos que ratifican la superioridad de los riego con caudal intermitente sobre los método tradicional Se logro mejorar los tiempos de riego, propiciándose un ahorro de tiempo.

## Synthesis

This work was carried out in Angel Bermudez farm, which belong to the CCS “10 de Octubre”, located near the road that runs from Sur del Jíbaro to Sancti Spiritus, in a Gley Vertico soil without carbonate, under conditions of minimal tilling. In order to evaluate the performance indicators of the intermittent watering by using the unloading tank by siphon (DTS), a design of stripped smallholding was employed. Treatment A is defined by a DTS volume design of 103 L; Treatment B is 144 L; Treatment C is 230 L and the treatment by watering with continuous flow. The goal is to evaluate the time of watering, infiltration (Z) in the furrow, to determine the advance speed, the total applied sheet, the efficiency of the application and the water gauging in 4 watering events. The intermittent watering reduced up to 10 times the advance time; at the beginning, the infiltrated sheet of the treatment by watering with continuous flow was 2, 71 times bigger than at the end of the furrow, the time of the application was reduced 7,6 times in comparison with the traditional method, an opportunity time 26 times smaller in comparison with the results obtained with continuous watering. The advance speed was about  $0.4 \text{ m.s}^{-1}$ . The best total applied sheet ( $L_a$ ) for all the treatments was obtained with the treatment by watering with continuous flow, which was 6,65 times bigger than treatment (B) intermittent watering. The efficiency of the application was always over 80 %, with outstanding result of treatment C, values that confirm the superiority of watering with intermittent flow in comparison with the traditional methods. I am managed to better, he times of irrigation propitiate quantity, an economy in time.

	Pág
<b>ÍNDICE</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	9
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	13
1.1. Historia del riego	13
1.2. Riego en Cuba	14
1.3. Riego con intermitencia o por pulso.	15
1.3.1 Ventajas del riego intermitente.	16
1.4 Riego superficial	16
1.4.1 Ventajas del sistema de riego superficial.	17
1.4.2. Desventajas del sistema de riego superficial	19
1.5 Infiltración en el riego por surco y velocidad de infiltración del agua en el suelo	22
<b>2. Materiales y Métodos</b>	
2.1. Indicadores a evaluar.	24
2.1.1. Propiedades hidrofísicas del suelo.	26
2.1.1.1. Densidad del suelo.	26
2.1.1.2. Capacidad de campo.	26
2.2. Evaluación de los parámetros de riego.	27
2.2.1 Aforo de agua.	27
2.2.2 Velocidad de avance del frente de agua	28
2.2.3 Tiempos de riego	29
2.2.4. Lamina total aplicada.	29
2.2.5. Modelo de infiltración de riego.	30
2.2.6 Eficiencia de aplicación.	31
2.3 Procesamiento estadístico.	32
<b>3. Resultados y Discusión</b>	
3.1. Propiedades hidrofísicas del suelo en la unidad experimento	32
3.2 Capacidad de campo	33
3.3 Caudal y velocidad de avance	34
3.4 Tiempo de avance	35
3.5 Tiempos de oportunidad	36
3.6 Tiempo de recesión.	36
3.7 Tiempos de aplicación	37
3.8 Secuencia de número de pulsos	38
3.9 Lámina Total Aplicada	38
3.10 Infiltración	39
3.11 Eficiencia de aplicación	40
<b>4. Conclusiones</b>	43
<b>5. Recomendaciones</b>	44
<b>Bibliografía</b>	45



## **Introducción:**

El intelecto humano ha evolucionado 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. Al presente, durante 9000 años, pocas mejoras tecnológicas fueron introducidas para aumentar la eficiencia del sistema del riego superficial (Roqué, 2009). Solo a partir de las últimas décadas del siglo pasado se ha enfrentado el riego con un enfoque científico racional, que permite utilizar el recurso agua con mayor eficiencia (Rodríguez y Santana, 2003).

Durante las últimas décadas, el riego ha sido crucial para el suministro de alimentos al mundo. La actividad agropecuaria es -sin dudas- el usuario más importante de los recursos hídricos, suelos y biodiversidad del mundo. El 70 % de la extracción total del agua del planeta es usada en agricultura, con un porcentaje cercano al 85 %, se consideran solamente los países en desarrollo. La industria consume el 20% y los municipios 10% restantes. A medida que mejora el bienestar global se incrementa la demanda de agua por parte de otros sub-sectores. El suministro doméstico, la industria y el propio medio ambiente, están ahora en competencia directa con el sector agropecuario por recursos hídricos cada vez más escasos.

En los últimos años, el riego por surco ha surgido como una de las tecnologías de mayor eficiencia en el uso del agua de riego. Ha revolucionado substancialmente los sistemas superficiales, al modificar y mejorar radicalmente cada uno de los parámetros que intervienen en el funcionamiento de este antiguo método. La explicación del fenómeno del riego intermitente se debe a que entre un pulso y otro se produce un disgregamiento de terrones, un reordenamiento de las partículas y una migración de sedimentos que sellan la base del surco. Por otra parte al haber una interrupción de suministro de agua queda aire atrapado en los poros del suelo (Carbajal, 2004).

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.

Esto ha llevado a que la actividad del riego sea cada vez más criticada por su uso ineficiente y hoy se encuentre en el centro del debate sobre como conservar los ambientes del mundo (Romay, 2004). Consecuencia de ello el sector agropecuario tiene la obligación de revisar y ajustar sin dilaciones el uso (distribución equitativa) y la modalidad de aplicación de su cuota hídrica para asegurar la sustentabilidad (preservación de la calidad) de los modelos productivos que de ella dependan.

Por lo tanto, hoy habrá que adaptar los sistemas de riego de ayer a las necesidades de riego del mañana. La necesidad de manejar adecuadamente este recurso en forma continua es una de las tareas de nuestra época. Los países más industrializados hicieron un llamado mundial para mitigar los efectos de una crisis alimentaria de graves proporciones y declaran que “es evidente el papel que se debe asumir hacia una agricultura sostenible, en donde el riego eficiente viene a ser una de las principales transversales”, (Romay, 2004).

De esta manera, el tema del riego cobra importancia en las discusiones y decisiones a nivel de política. El riego por surcos es la técnica más difundida en el mundo debido a sus bajos costos de inversión, explotación y mantenimiento. Cubre alrededor de 250 millones de hectáreas de las 270 beneficiadas con el riego a escala mundial (Camejo, 2006).

El director de la Organización Mundial para la Alimentación (FAO) afirma que “el futuro del agua se encuentra en una agricultura más eficiente”, y señala que “millones de campesinos de todo el mundo proporcionan los alimentos y deben ser el eje de cualquier proceso de cambio. Necesitan ser apoyados y guiados, para producir más con menos agua. Ello requiere inversiones bien dirigidas, incentivos y un marco político adecuado para sistemas de producción, riego y mitigación ante el cambio climático”. En Cuba el 45% del área bajo riego es por gravedad aunque la mayor parte de las mismas está ocupada por el cultivo del arroz y los recursos hídricos son escasos, la tecnología de riego que utilizan la mayoría de los agricultores es la tradicional (riego continuo), la cual es de muy baja eficiencia de aplicación, sea el método de riego por surcos con flujo continuo el más utilizado según Pacheco (2006).

No existe «el» mejor método de riego, sino que existe «un» método de riego que es el más apropiado para cada situación. Los métodos de riego por gravedad tienen claras ventajas respecto a los métodos presurizados en cuanto a los costos de

inversión y operativos. Sin embargo, es muy frecuente que los productores y sus técnicos asesores descarten a priori la elección de este método. Los argumentos más frecuentemente utilizados para ello son: I el riego por superficie es poco uniforme II Es muy ineficiente y por lo tanto desperdicia mucha agua, III es muy difícil de instrumentar y por ello es necesario tener mano de obra muy calificada García (2011).

Por tanto, es necesario mejorar la eficiencia de 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 aplicación del agua mediante riego intermitente, el cual se presenta como una alternativa a los problemas encontrados en un riego superficial tradicional.

(García, 1995) diseñó un equipo denominado Tanque de Descarga por el Fondo, al 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 desde la dimensión de la innovación local, con un menor costo y de fácil manejo; pero aún está sujeto a diversas polémicas ya que el mecanismo utilizado para la apertura y cierre del Tanque de Descarga por el Fondo, fue el sistema de válvula empleada en inodoros de baño sanitario doméstico.

Por lo que se propone diseñar y construir un elemento estructural nombrado Tanque de Descarga por Sifón que permita el control del flujo para obtener caudales intermitentes basados en el diámetro, 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**

¿Cómo influye el TDS en los indicadores de desempeño del riego por surcos con caudal intermitente?

## **Hipótesis**

Si se determina como influye el tanque de descargo por sifón en los parámetros de riego como la infiltración y los tiempos de aplicación. Entonces podemos mejorar los indicadores de desempeño en el riego superficial por surco.

## **Objetivo General**

Evaluar cómo influye el régimen de trabajo del TDS sobre los indicadores de desempeño del riego por surcos con caudal intermitente.

## Revisión Bibliográfica

### 1.1 El riego a nivel mundial

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 (Israelsen y Hansen, 1965) consultado por (Rodríguez y Santana, 2003), (Rodríguez, 2013)

Según Rodríguez y Santana (2003). El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos. De acuerdo con la Biblia, el riego se originó al mismo tiempo que el hombre, y en el mismo lugar. Génesis (2:10) indica: de Edén salía un río que regaba el jardín; y desde allí se dividía y se formaban de él cuatro brazos. El intelecto humano ha evolucionado con relación al riego, a la par del desarrollo científico mundial.

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, solo es hasta la época actual, en que a principios del siglo comenzaron a desarrollarse una serie de aparatos del tipo asperjadores, que en gran medida superaron la baja eficiencia del riego superficial, pero que requerían del consumo de energía. Solo a partir de las últimas décadas se ha enfrentado el riego con un enfoque científico racional, que permite utilizar el recurso agua con mayor eficiencia, minimiza efectos adversos como la erosión, el drenaje deficiente y la salinización de los suelos Rodríguez y Santana, (2003).

Los recursos hídricos son escasos, la tecnología de riego que utilizan la mayoría de los agricultores es la tradicional (riego continuo), la cual es de muy baja eficiencia de aplicación, es el método de riego por surcos con flujo continuo el más utilizado según Pacheco , *et al*, (1995) consultado por Rodríguez y Santana, (2003). Por tanto, es necesario mejorar la eficiencia de 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 aplicación

del agua mediante riego intermitente, el cual se presenta como una alternativa a los problemas encontrados en un riego superficial tradicional.

Autores como (Morábito J, 2005) argumentan que 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. En las últimas décadas la preocupación por la necesidad y escasez del agua ha cobrado gran importancia a nivel mundial, por lo que cada sector existente en el país desarrolla metodologías y proyectos para la conservación y uso eficiente de la misma.

Una vía eficiente para el mejoramiento del riego superficial 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 (Bishop, 1981). Es una tecnología emergente que puede alcanzar alta eficiencia de aplicación en comparación con el riego continuo convencional (Pacheco et al. 1995) 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.

En América, al igual que en las antiguas culturas europeas y asiáticas, las poblaciones también se desarrollaron a orillas de ríos y lagos. Sin embargo, gran parte de las labores agrícolas se realizaron durante los períodos de lluvia, lo que llevó al desarrollo de diferentes tipos de obras hidráulicas con la finalidad de ampliar sus fronteras agrícolas. Así por ejemplo, los incas desarrollaron el cultivo en terrazas en las laderas de montañas, que eran irrigadas por complejos sistemas de canales y embalses artificiales de agua (OSP, 2002).

## **1.2 Riego en Cuba.**

En Cuba el riego se conoce desde el siglo XVIII que las aguas del río Mayabeque regaron el Valle de San Julián de los Güines en la provincia de La Habana. 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, pues el riego siempre fue una promesa incumplida de los gobiernos anteriores a 1959. A partir de 1959 se comenzó a trabajar en Cuba en la construcción de obras hidráulicas y en 1962 con la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) se organiza su estrategia hidráulica (Kirilova y Pavón, 1986) consultado por (Santana,

2007), El nuevo reto para los hombres ligados al tema en el mundo es mejorar constantemente la relación agua aplicada producto obtenido conserva el suelo y el agua Camejo, (2006).

A finales del siglo XX actores como (Pacheco, 2006) 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.

### **1.3 Riego con intermitencia o por pulso.**

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.

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).

Esta reducción en la velocidad de infiltración se traduce en una mayor cantidad de agua dispuesta sobre la superficie del suelo, lo que hace que el avance sea más rápido. Al ser el avance más rápido y ser menor la diferencia entre los tiempos de contacto agua-suelo que se dan entre los extremos aguas arriba y aguas abajo de la parcela, aumenta la uniformidad. Además, como disminuye la infiltración, las pérdidas por percolación pueden controlarse mejor, lo que podría traducirse en un aumento de la eficiencia de la aplicación. Múltiples ensayos han puesto de manifiesto la eficacia del riego a pulsos en surcos en variadas circunstancias. Puede encontrarse una buena revisión en Walker y Skogerboe (1987).

Los aspectos más importantes que definen las características de un riego a pulsos se tratan a continuación.

Con respecto al criterio del tiempo durante el cual se vierte agua a las unidades de riego, se diferencian fundamentalmente dos métodos de manejo. Uno es el llamado tiempo variable / distancia constante, y el otro el llamado tiempo constante / distancia variable. En el primer caso, se aplica agua durante el tiempo necesario para que el frente húmedo avance en cada pulso una cierta distancia preestablecida. En el segundo, se propone un tiempo constante de aplicación del agua en cada unidad de riego y en cada pulso, de modo que el agua avanza en cada pulso una distancia diferente hasta alcanzar el punto deseado de la parcela. El número de pulsos es otra de las características propias de un determinado riego. Denominamos tiempo on al tiempo durante el cual se aplica agua a la unidad de riego en un determinado pulso. Por el contrario, tiempo of es el periodo de tiempo entre pulsos, durante el cual no se aplica agua. Un ciclo está constituido por un tiempo con y un tiempo sin. Tiempo de ciclo es el número de minutos que corresponde a un ciclo. Relación de ciclo es el cociente entre el tiempo con y el tiempo de ciclo, (Morábito, 2005).

Según Carbajal y Carlos (2004), 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 reduce la infiltración y la resistencia a la rugosidad de la superficie del suelo, se consigue que el flujo circule con rapidez y se consiga un avance mayor y una mejor uniformidad en el riego.

La causa de la reducción entre los tiempos de contacto entre la cabeza del surco y la cola, logra una distribución más uniforme del agua gracias al riego por impulsos no se conoce con exactitud, pero parece que tiene que ver con la dispersión de los agregados del suelo; cesa el flujo del agua las partículas de arcilla continúan su expansión, se disminuye el tamaño de los poros; al mismo tiempo, las partículas más finas, generalmente limosas, arrastradas por la corriente del agua, tienden a depositarse sobre el fondo del surco, con lo que también disminuye la infiltración. (Carbajal y Carlos, 2004).



Este propio autor plantea que el riego por pulsos presenta menores tiempos de avance como resultado de la reducción en las velocidades de infiltración, el mismo que se origina por una reducción de la permeabilidad del suelo, es la principal causa de esta reducción la consolidación del suelo mojado durante la interrupción del flujo, debido a un incremento en la tensión suelo-agua. También puede ser ocasionada por la disminución de la rugosidad del surco y una sección de surco más estable durante la infiltración de agua entre pulsos y la entrada y captura de aire que ocurre entre pulsos. De esta forma, el agua recorre el surco en varios ciclos discontinuos. Esto favorece el reordenamiento de los terrones del surco, al dispersarse las partículas en los poros y grietas, provoca un proceso de “sellado”. Por esta razón el agua del próximo ciclo avanza en forma más rápida sobre la tierra húmeda (Ecorriego, 2008).

El riego intermitente, riego por impulsos o *surge flow* consiste básicamente en hacer la entrega del gasto al surco de forma intermitente se aprovecha entre un impulso y otro que con el hinchamiento y reacomodo de las partículas de suelo se incrementa su capacidad conductora y disminuya la velocidad de infiltración. Bajo estos principios se incrementa la productividad de los sistemas de irrigación superficial y disminuyen las pérdidas de agua (García, 1996).

Según Santana (2007) para hacer la entrega intermitente del gasto se ha diseñado varios dispositivos que incluyen válvulas de mariposa gobernadas por mecanismos programados se utiliza fuentes de energía eléctrica procedentes de la línea comunitaria, de paneles fotovoltaicos o baterías de acumulador.

En el caso de que el surco reciba agua de forma intermitente, cesa el flujo de agua las partículas de arcilla continúan su proceso de expansión, con lo cual disminuye el tamaño de los poros y se reduce la cantidad de agua infiltrada. Como consecuencia de ello, en los siguientes suministros del agua circula con mayor rapidez, consiguiéndose una mayor uniformidad en el tiempo de contacto del agua circulante con la superficie del suelo y una mayor uniformidad de riego (Fuentes, 1998).

### **1.3.1 Ventajas del riego intermitente:**

De acuerdo Belaustegui y Mustieles, (2014), el riego intermitente presenta varias Ventajas:

**Baja presión de trabajo.** Al ser un riego por gravedad permite trabajar en rangos realmente muy bajos, desde 0,05 kilogramos por centímetro cuadrado hasta valores

cercanos a 1 kilogramo por centímetro cuadrado. Esto mantiene un ahorro de energía significativo se labora con bombeo, que puede llegar al 80%, comparado con la aspersión. Solamente se requiere una diferencia de altura de 1 a 2 metros entre el canal de riego y la parcela, por lo que en muchos de los casos no se necesitará bombeo, solamente dispositivos muy sencillos y económicos (que se abordarán más adelante) para controlar y mantener la presión.

- **Ahorro de agua.** Al evitar la percolación profunda y el desagüe al final del lote se pueden lograr eficacias superiores al 80% en la aplicación del agua. El efecto “pulso” permite administrar el agua desde la cabecera, con lo que se logra un desarrollo de la capa húmeda del subsuelo extremadamente pareja entre la cabecera y el pie de surco.

- **Bajo costo de inversión inicial.** El equipo, por su sencillez, no requiere fuertes gastos. Se compone básicamente por el cabezal (cuyo componente principal es la válvula pulsadora), las alas de tubería con compuertas y la conducción (que va desde la fuente de abastecimiento hasta el cabezal).

- **Surcos más largos.** Depende de las condiciones del terreno, los surcos podrán ser de una longitud mayor a la de los utilizados en riego tradicional; lo común es trabajar con valores de 600 a 800 metros, aunque en algunos países, como Argentina, existen casos en los que los surcos miden más de mil metros.

- **Mayor rango de pendientes.** El riego por caudal discontinuo permite ampliar el rango de pendientes del terreno, con lo que bajan los costos por nivelación. Se puede trabajar desde 0,1% hasta 1,5% (de 10 centímetros cada 100 metros ó 150 centímetros por cada 100 metros).

- **Bajo costo de mantenimiento.** Debido a que esta técnica no posee partes complejas ni sometidas a presión, los costos de mantenimiento son prácticamente nulos.

- **Baja incidencia en mano de obra.** Por ser sistemas sencillos y automáticos, se estima que con esta técnica una persona puede regar 120 hectáreas.

El efecto del riego con caudal intermitente y la productividad del riego, permite alcanzar o superar el 70% de eficiencia de aplicación. 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. Se controla el problema de la erosión, por las mismas características de la intermitencia. Con este método se permite mayores longitudes de surco que las

tradicionales, varía según textura y pendiente entre 400 y 800 m. Con respecto a las desventajas que presenta este sistema intermitente o de caudal discontinuo autores como Rodríguez y Santana (2003), 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.

En el riego intermitente la infiltración se reduce debido a que al humedecerse el perímetro mojado del surco, los agregados del suelo se disuelven parcialmente y se asientan, forman una superficie fangosa y lisa en que las partículas de arcilla continúan dilatándose; como consecuencia tiende a disminuir la infiltración. En la descripción del proceso físico que ocurre en la interacción suelo - agua se suspende el gasto entre las intermitencias, (Santana, 2007) explica que la estructura del suelo se altera, se disuelven parcialmente los terrones, acomodándose las partículas, se forma una sedimentación que origina el aislamiento de la superficie, las partículas del suelo se expanden continuamente y tanto el agua como el suelo en contacto con la atmósfera captan aire por atracción capilar y bloquean las pequeñas superficies de los poros.

Los beneficios del riego por impulsos consisten en la aplicación uniforme del agua, regar más áreas en menor tiempo, control del escurrimiento. Prevención de la acumulación de sales dentro de la zona radical, ahorro de agua de 30 a 50%, puede usarse en cualquier sistema de labranza, sirve para todo cultivo, controla mejor la erosión, reducción drástica de la mano de obra, alcanza eficiencias de aplicación similares a la aspersión; es decir 80% como promedio (Brown, 2000).

#### **1.4 Riego superficial**

Se define como método de riego superficial a aquel que entrega el agua directamente sobre la superficie del suelo. Su movimiento se realiza por la acción de la gravedad y requiere de la existencia de cierta pendiente en el terreno. 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. (Santana 2003)

El riego superficial, como su nombre indica, hace alusión al agua que fluye sobre la superficie del terreno desde su parte más alta y fluye hacia los puntos más bajos

gracias a la pendiente (topografía) por efecto de la gravedad, disminuye en cantidad o volumen a medida que se infiltra en el suelo, (Delgadillo, 2000).

En este método de riego se deposita el agua sobre la superficie del suelo y esta fluye sobre la misma, donde se dispone de algún medio para regular el agua para que penetre a una profundidad adecuada en el suelo, para suministrarle a la planta el agua que necesita para su distribución uniforme por el terreno. Se deben diseñar y operar correctamente para que se cumpla la potencialidad de estos sistemas, debido a que las deficiencias que persisten en estos aspectos constituyen la causa de las pérdidas excesivas de agua por percolación profunda y por escurrimiento superficial en el extremo inferior del surco (Pérez , 2004).

Los surcos funcionan de la misma manera que los canales, hidráulicamente; 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 (Brown, 2000).

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 riego superficial no depende de grandes operadores, de altos insumos y consumo de energía, por lo que es usado internacionalmente. 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, 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).

En toda área bajo riego existen factores como las características del suelo, la pendiente, el tamaño del área, el manejo del agua por el regante, etc. Que dan lugar a pérdidas de agua y desperdicios que afectan la eficiencia del riego. La eficiencia de aplicación de agua está relacionada con la cantidad de agua que debe suministrársele al suelo en cada riego, depende de sus condiciones físicas, de la frecuencia de las aplicaciones y de la profundidad radicular. La eficiencia de aplicación de agua en el riego superficial influyen principalmente la cantidad de agua aplicada, las características de infiltración del suelo y la rapidez del avance del frente de agua sobre la superficie del terreno. Israelsen y Hansen, (1965).

La eficiencia de aplicación de agua es la relación entre la lámina de agua almacenada en la zona radicular y la lámina de agua derivada, representada ésta por la sumatoria de la lámina neta, escurrida y percolada según (Israelsen y Hansen, 1965). La eficiencia de aplicación se ve así afectada por las pérdidas por escurrimiento y percolación profunda. 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.

#### **1.4.1 Ventajas del sistema de riego superficial**

- Bajo o nulo consumo de energía
- Bajo costo de inversión inicial
- No se afecta el riego por la acción del viento

Se puede utilizar agua de deficiente calidad aunque no salinas

- Permite el lavado de sales en el suelo
- Admiten cambios de cultivos y de caudales de aplicación

#### **1.4.2 Desventajas del sistema de riego superficial**

- Requieren de trabajos sistemáticos de mantenimiento de obras y canales.
- Requieren de mayor fuerza de trabajo
- Presentan bajas eficiencias de transporte, distribución (en las redes de riego) y de aplicación (en las parcelas).

- Precisa de buenos trabajos de nivelación de tierras.

-No permiten riegos ligeros ni frecuentes

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).

### **1.5 Infiltración en el riego por surcos y velocidad de infiltración del agua en el suelo**

La infiltración del agua en el suelo es un proceso físico que ha sido extensamente investigado debido a su importancia en la agricultura. Es el aspecto más complejo de la hidráulica del riego por surcos y uno de los factores más importante de cuantos intervienen en el diseño de los métodos de riego. El mayor impedimento para el mejoramiento del diseño y operación de los sistemas de riego superficiales es la dificultad en la caracterización. (Rodríguez, 2014).

Para la determinación de la infiltración se utilizan diferentes fórmulas empíricas y teóricas. Las primeras tienen la ventaja de estar físicamente fundamentadas y ayudar a la comprensión del fenómeno; su principal limitación estriba en los supuestos de homogeneidad e isotropismo del perfil o en lo elaborado de las soluciones numéricas. Las ecuaciones empíricas tienen la ventaja de su sencillez y en general su amplia adecuación a condiciones diferentes de suelo; tienen sin embargo la seria limitación de no proporcionar ninguna interpretación física directa del fenómeno y por tanto son incapaces de extrapolar la información a condiciones diferentes de aquellas en las cuales se obtuvieron (García; *et al*, 1996).

La literatura enfatiza el desarrollo de ecuaciones representativas de la infiltración tales como Kostiakov (1932), Horton (1940) y Phillip (1957). Usualmente los parámetros de estas ecuaciones se obtienen por ajustes de la ecuación de infiltración a los datos de lámina infiltrada acumulada medido experimentalmente. La bondad del ajuste se utiliza como criterio para justificar la solución de la ecuación de infiltración.

(Landini, *et al*, 2007) plantea que los modelos de Kostiakov - Lewis y Philip son altamente eficientes para describir el comportamiento de la infiltración de agua en los suelos. Las diferencias observadas en las tasas de infiltración se atribuyen, más a la clasificación del suelo y a otros factores como el uso de la tierra. Cuestión que confirma las conclusiones de estos autores respecto a la equivalencia entre ambos modelos.

La infiltración instantánea definida como velocidad de penetración del agua en suelo insaturado, desde la superficie del suelo (Kostiakov, 1932), mencionado por (Grassi, 1998) es un parámetro muy importante vinculado al riego. Se utiliza tanto para el diseño como para la evaluación de los métodos de riego. Los parámetros de la velocidad de infiltración están vinculados a la textura y a la estructura del suelo y permiten caracterizarlo.

El fenómeno ha sido descrito por distintos autores (Isrraelsen & Hansen, 1965) y hay varios modelos que intentan representarlo. No obstante la metodología más difundida y fácil de implementar, a pesar de sus limitaciones, es la del infiltrómetro de doble anillo, que permite aproximar -a campo- el valor de infiltración básica del suelo y con ello obtener los valores de los parámetros de los otros modelos conocidos. Citado por (Morabito y Prieto, 2008).

La metodología para determinar la velocidad de infiltración con el infiltrómetro de doble anillo ha sido definida por varios autores (Isrraelsen y Hansen, 1965), mencionado por (Grassi, 1998). Consultado por (Morabito y Prieto, 2008).

## Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en la finca del sector privado perteneciente al productor Ángel Bermúdez, este está asociado a la CCSF “10 de Octubre”. Esta está ubicada en la carretera del Jibaro al Sur de la ciudad de Sancti Spíritus. En un suelo Gley Vértico sin Carbonato según la clasificación de suelo de Cuba (Hernández *et al.*, 1999).

La tecnología de riego empleada es el riego superficial por surcos con caudales intermitente. Como principal dispositivo de riego se utilizó el Tanque de Descarga por Sifón (TDS) propuesto por Viera y Betancourt, (2014), este cuenta con un volumen del depósito o tanque de  $0,23 \text{ m}^3$ , constan dentro de sus partes de un sifón autocebante o campana, el área del tubo de descargue o interior presenta un valor de  $0,202 \text{ m}^2$ . Las dimensiones de la campana o parte exterior del sifón, presenta un radio de  $0,035 \text{ m}$ , para un espacio entre el tubo de descarga y la campana de  $0,0105 \text{ m}^2$  tanto por la parte superior como por el lateral.

El TDS, permite trabajar con caudales de entrada de un rango desde  $0,3 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  hasta  $1,4 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ . La carga y descarga hidráulica del mismo oscilas según la altura de la toma de agua interna del sifón. El ciclo de llenado del tanque está en el rango de  $0,55$  a  $1,56 \text{ min}$  y el ciclo de la descarga del dispositivo es de  $0,46$  a  $2,26 \text{ minutos}$ . El volumen de entrega para el dispositivo son de  $103,1 \text{ L}$  a una altura de la toma de agua interior del sifón de  $0,46 \text{ m}$  con respecto a la base del tanque, para una altura de  $0,31 \text{ m}$  la entrega es de  $144,6 \text{ L}$  y para la toma hidráulica más baja del sifón que cuenta con una altura con respecto a la base de  $0,16 \text{ m}$ , el volumen a entregar es de  $230,8 \text{ L}$  por descarga como promedio.

Para evaluar los indicadores de desempeño se utiliza como referente el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con la variedad Buena Ventura a un marco de plantación de  $0,08 \text{ m} \times 0,45 \text{ m}$ . La actividad de preparación de suelo es realizada por el método de laboreo mínimo, la pendiente del terreno es de  $0,6\%$ , con un diseño triangular de taludes próximo a  $45^\circ$ . Los objetivos a cumplir en el presente trabajo dan lugar a propósitos de trabajo del Programa de Innovación Local Agropecuaria (PIAL) y a las líneas investigativas de las Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad de Sancti Spíritus.



El diseño experimental empleado es de parcelas en franja con cuatro tratamientos compuestos de 10 surcos cada uno utilizado anteriormente por Brown (2000); Rodríguez y Alonso (2011) y Rodríguez (2014), con una longitud de 60 m por cada surco, su empleo obedece a la simulación de las prácticas comunes que realizan los productores, se sigue así el requisito de tipicidad planteado por Fuentes *et al* (1999). El área experimental tiene un total de 1 188 m<sup>2</sup>, cada uno de los tratamientos cuenta con un área efectiva de 297 m<sup>2</sup>, como se muestra en la figura 1.

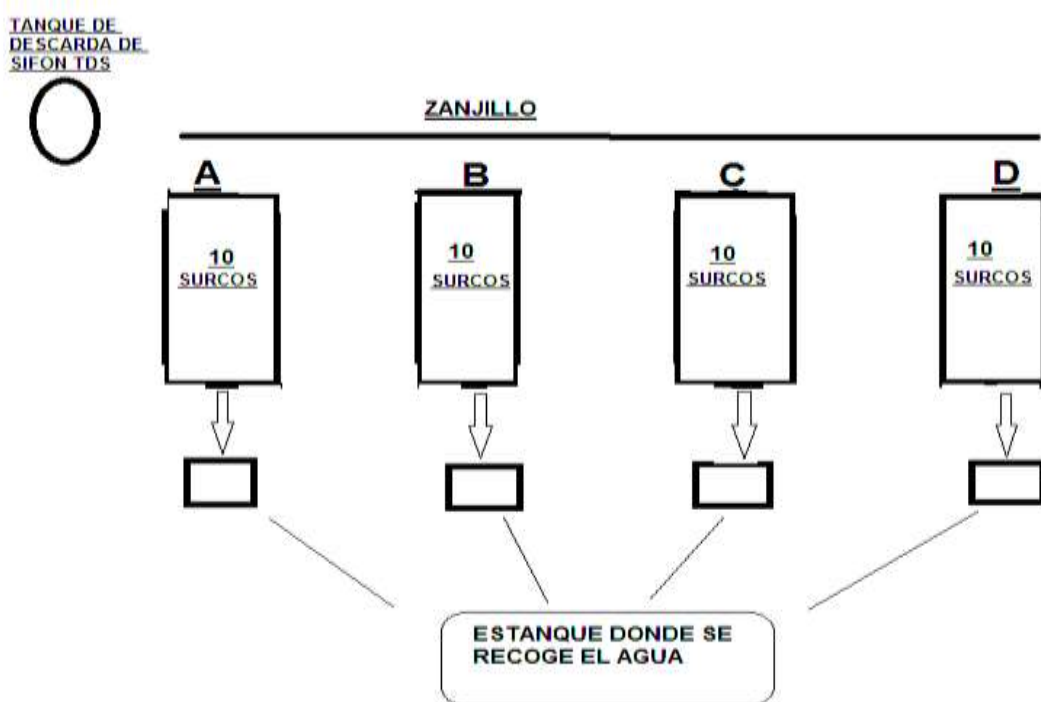


Figura1: Diseño del experimento

**Tratamiento A:** Tecnología de riego superficial por surco con caudales intermitente con criterio de manejo de tiempos constante y distancia variable. Se utiliza el TDS con volumen de entrega de 103,1L a una altura del sifón 0,46 m con respecto a la base del tanque.

**Tratamiento B:** Tecnología de riego superficial por surco con caudales intermitente con criterio de manejo de tiempos constante y distancia variable. Se utiliza el TDS con volumen de entrega de 144,65 L a una altura del sifón 0,31 m con respecto a la base del tanque.

**Tratamiento C:** Tecnología de riego superficial por surco con caudales intermitente con criterio de manejo de tiempos constante y distancia variable. Se utiliza el TDS con volumen de entrega de 230,85 L a una altura del sifón 0,16 m con respecto a la base del tanque.

**Tratamiento D:** Tecnología de riego superficial por surcos con caudal continuo y drenaje libre. Como criterio de manejo se utiliza los parámetros de diseños del territorio.

## 2.1 Propiedades hidrofísicas del suelo.

### 2.1.1 Densidad del suelo

La Densidad volumétrica se tiene en cuenta la humedad del suelo definida como la relación entre el peso del suelo seco en su estado natural, incluye los poros y se determinó por la ecuación [2.1]. Para obtener el valor medio del muestreo se promedian los valores obtenidos por profundidad por el procedimiento matemático [2.2] sugerido por Luís y Martín (2003), Pérez y Cid, (2008) y Rodriguez, (2014).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [2.1]$$

**Donde:**  $\rho$  = densidad del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ),  $m$ = masa (g);  $v$  = volumen interior del cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

$$\rho_{media} = \frac{\sum \alpha(i)}{n} \quad [2.2]$$

**Donde:**  $\rho_{media}$  – Densidad del suelo promedio por profundidad;  $\rho_{(i)}$  – Valores de la densidad aparente en las diferentes muestras tomadas para una profundidad;  $n$  – Número de muestras para una profundidad dada.

Escala de la evaluación de la densidad aparente

Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Calificación
< 1	Muy bajo
1,0----1,20	Normal
1,21----1,45	Compacto
1,45---1,60	Muy compacto
>1,60	Altamente compacto

*Fuente: Martín y Durán,2008*

Las muestras en el perfil se tomaron cada 0,10m de profundidad y se empleó el dispositivo utilizado por Santana (2007) el cual permite el estudio de esta característica física sin afectarla significativamente, mismo para la toma de muestra y un cilindro de empuje donde se producen los impactos. Una vez que ha penetrado el cilindro en la capa de suelo correspondiente se procede a su extracción por medio de excavaciones alrededor y por debajo de este. Se continúa con el secado de 12 a 24 horas, 105 °C en la estufa esta que se establezca el peso.

### 2.1.2 Humedad del suelo a capacidad de campo.

El estado del suelo a capacidad de campo se determinara por el método gravimétrico a partir de las muestras tomadas en la plazoleta de inundación, se tomaron con una barrena de sonda, las cuales se secaron en la estufa a 105 °C hasta que se obtienen valores de humedad aproximadamente iguales en dos muestras sucesivas. Las pesadas consecutivas realizadas se llevaron a cabo con una balanza analítica digital modelo *Santorius Max* 6200 g d=0,01g. Está propiedad se determinó por la ecuación [2.3] propuesta por Santana, (2007).

$$C_c = \frac{P_H - P_S}{P_S} \cdot 100 \quad [2.3]$$

**Donde:** **Cc:** % humedad del suelo (bss); **PH:** Peso suelo húmedo; **PS:** Peso suelo seco.

## 2.2 Parámetros del riego.

Una vez localizada la unidad experimental se procedió a la instalación del equipamiento necesario para la determinación de los parámetros de diseño y evaluación del riego por surcos, a partir de los resultados experimentales bajo las condiciones en que se desarrolla la producción del cultivo del frijol en la localidad de Colon para que las evaluaciones fueran equivalentes. Para ello se llevaron a cabo (durante el riego) las siguientes mediciones:

### 2.2.1 Aforo del agua

Para el aforo del agua en el surco se utilizó un vertedor triangular, se tuvo en cuenta los principios propuestos por Israelsen y Hansen, (1965). El vertedor presenta las siguientes dimensiones 0,35 x 0,30m con una hendidura hecha transversal a la corriente; se tuvo en cuenta que en la sección libre el ángulo fuera de 90°.

Para determinar el tamaño del instrumento se consideró los criterios de León, (2002), Pacheco *et al.*, (2006), Santana (2007) y Rodríguez (2014) que sugiere, para utilizar esta herramienta, primero conocer el caudal máximo y el mínimo que circulará a través de él. Para evitar el desbordamiento por los hombros del surco;

este autor refiere que el modelo tiene alta exactitud en sus mediciones y constituye un elemento que obstruye la circulación del agua en una conducción libre esta es confinada por las paredes laterales de los estribos que lo limitan lateralmente, de hecho, esto implica una sección de control.

El vertedor triangular permitió transformar la unidad lineal (cm.) de las mediciones del tirante en gastos ( $L.s^{-1}$ ) y según la ecuación [2.4] propuesta por Israelsen y Hansen, (1965) para determinar su magnitud. El instrumento se colocó en la estación cero que se ubicó a 2 m de separación del punto de descarga TDS al inicio del surco.

$$Q = CH^{5/2} = \quad [2.4]$$

**Dónde:** **Q:** Gasto a través del vertedor ( $L.s^{-1}$ ); **C:** Coeficiente de gasto para el vertedor triangular (0,0138); **H:** Tirante (cm) altura del vertedor

### 2.2.2 Velocidad de avance y Caudal máximo no erosivo

Se determinó la velocidad de avance a partir de la relación distancia contra tiempo y se comparó con la velocidad máxima permisible ( $V_{m\acute{a}x}$ ) mediante la ecuación [2.5] de Mannign consultada por García y Fontova (1998) y Morábito (2005). El caudal máximo no erosivo ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) por la expresión [2.6] propuesta por Hamard y Stringham (1978) consultado por (García y Fontova, 1998) y (Pérez, 2008). El gasto máximo no erosivo se obtiene por la vía experimental. Con esto se asegura que no se produzca erosión de la superficie del terreno.

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} R^{2/3} . S^{1/2} \quad [2.5]$$

**Dónde:**  **$V_{m\acute{a}x}$ :** Velocidad del agua ( $m.s^{-1}$ ); **n:** Coeficiente de rugosidad de Manning; **R:** Radio hidráulico (m); **S:** Pendiente del surco ( $m.m^{-1}$ )

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C}{S^a} \quad [2.6]$$

**Dónde:**  **$Q_{m\acute{a}x}$ :** Gasto máximo no erosivo, en  $L.s^{-1}$ ; **S:** Pendiente del surco (%); **C y a:** Coeficientes experimentales que dependen del tipo de suelo

### 2.2.3 Tiempos de riego

Con respecto a la dimensión tiempo los parámetros del riego por surco determinados en esta investigación fueron: tiempo de avance ( $t_{av}$ ), tiempo de aplicación ( $t_a$ ), tiempo de recesión ( $t_r$ ) y tiempo de oportunidad ( $t_o$ ). Para determinar el avance del frente de agua sobre la superficie, se dividió la distancia del surco en siete partes iguales y en cada una de ellas se colocó una estaca (cada diez metros) indicadora de esta estación. Una vez iniciado el riego se registró el tiempo de avance del flujo de agua en las distintas estaciones espaciadas sobre la longitud total del surco. Esta operación se realizó en el área efectiva (cinco surcos) en cada tratamiento. El instrumento a utilizar para la medición del tiempo fue un cronómetro digital modelo Casio con una precisión de milésimas de segundos.

#### 2.2.4 Lámina total aplicada

Para determinar en volumen la cantidad de agua aplicada durante los diferentes tratamientos se determinó la lámina total aplicada ( $L_a$ ), esta se obtiene mediante la ecuación [2.7], la cual es empleada anteriormente por (Rodríguez 2014) y según sus criterio se obtiene los valores de lámina de agua aplicada en milímetros.

$$L_a = \frac{Q_0 \cdot t_a}{1000 \cdot W \cdot L} \quad [2.7]$$

**Donde:** **Q:** Gasto de diseño, ( $m^3 \cdot min^{-1}$ );  **$t_a$ :** Tiempo de aplicación, (min); **W:** Espaciamiento entre surcos (m); **L:** Longitud del surco (m).

#### 2.2.5 Modelo de Infiltración en el riego

Se determinara el contenido de humedad presente en el suelo después de la actividad del riego mediante la modelación de la lámina infiltrada acumulada en el surco, con la ecuación de Kostiakov [2.8] y Kostiakov – Lewis [2.9].

$$I = a \cdot t^b \quad [2.8]$$

**Donde:** **I:** Velocidad de infiltración (mm/min); **t:** Tiempo (min); **a:** Coeficiente que representa la velocidad de infiltración en unidad de tiempo y **b** exponente adimensional (varía entre 0 a -1)

$$Z = k \cdot t^a + f_o \cdot t \quad [2.9]$$

**Donde:** **Z:** Lámina infiltrada acumulada; **[ $f_o$ ]:** [velocidad de infiltración básica en unidades de volumen por unidad de longitud y por tiempo ( $m^3/m/min$ ) **[a y k]:** *parámetros empíricos* **[t]:** Tiempo de oportunidad de infiltración de la lámina de riego.

Se han realizado varios intentos para definir los valores de a, k y fo en función del tipo de suelo. Entre los primeros pueden mencionarse los del Departamento de Agricultura de los EEUU (1974, mencionado por Grassi, 1998), más tarde Merriam y Clemmens (1985, mencionado por Walker, 2003)

F	Código (lb		Textura	SCS-USDA			Kostiakov		Kostiakov-Lewis		
	mm/h)	("/h)		A'	B'	C'	A	B	a	k	fo
Ex.R	100	4.00	Arenoso	4.45	0.827	7	7.00	0.720	0.750	0.00421	0.000390

Los parámetros [k, a y fo] se estiman a partir del método de balance de volumen aplicado en dos puntos de la longitud del surco durante la fase de avance. La velocidad básica de infiltración se obtiene con el método de entrada y salida dada por la ecuación [2.10]:

:

$$f_o = \frac{Q_o - Q_s}{L} \quad [2.10]$$

**Donde:** f<sub>o</sub>: Velocidad de infiltración estabilizada; Q<sub>o</sub>: Gasto a la entrada del surco; Q<sub>s</sub>: Gasto al final del surco; L: Longitud del surco.

La ecuación de Kostiakov-Lewis depende de los parámetros empíricos k y a (adimensional y con valores menores que 1), estos se determinan con las ecuaciones [2.11] y [2.12]

$$a = \frac{\ln\left(\frac{V_L}{V_{L0.5}}\right)}{\ln\left(\frac{t_L}{t_{L0.5}}\right)} \quad [2.11]$$

**Donde:** a: parámetro adimensional; V<sub>L</sub>: Volumen entregado en la longitud del surco; V<sub>L0.5</sub>: Volumen entregado la mitad del surco; t<sub>L</sub>: Tiempo de avance t<sub>L0.5</sub>: Tiempo de avance en la mitad del surco.

$$k = \frac{V_L}{\sigma_z \cdot t_L^a} \quad [2.12]$$

**Donde:** k: Coeficiente de ajuste; V<sub>L</sub>: Volumen entregado en la longitud del surco; t: Tiempo de oportunidad de infiltración de la lámina de riego.

### 2.2.6 Eficiencia de aplicación

Se calculó la eficiencia de aplicación (*EAP*) por el modelo matemático expresado en la ecuación [2.13] y está conceptualmente representado *EAP por el* cociente entre el volumen de agua almacenada en el perfil del suelo y el volumen de agua entregado a la parcela (Morábito, 2005).

$$EAP = \frac{V_{IAL}}{V_{Aplicada}} \cdot 100 = \quad [2.13]$$

**Donde:** **EAP:** Eficiencia de aplicación; **V<sub>IAL</sub>:** Volumen de agua infiltrada y almacenada; **V<sub>Aplicada</sub>:** Volumen de agua aplicada

Esta eficiencia se calculó mediante los diferentes tipos de volúmenes utilizados como 103,1; 1444,65 y 230,85 en los diferentes tratamientos por el número de pulsos que se regó en cada tratamiento.

### 2.3 Procesamiento estadístico

Los datos referidos para los distintos parámetros de riego se analizaron estadísticamente con el software STATGRAPHICS versión 5.1. Se realizó un análisis de ANOVA simple y la comparación de medias se obtiene mediante el test de rangos múltiples de Turkey para un 95% de confianza. En el caso en que los datos no siguen la distribución normal y/o tienen varianzas distintas, se utiliza el test no paramétricas de Kruskal-Wallis, para un nivel de significación de  $p \leq 0,05$ . Esta representa una excelente alternativa al ANOVA de un factor.

## Resultados y Discusión

En el presente capítulo se exponen nuevas variantes o alternativas para el mejoramiento del riego por surcos con caudal intermitente con el uso de resultados alcanzados a partir de su aplicación en los casos de estudio. Se muestran los resultados técnicos alcanzados en la etapa de investigación.

### 3.1 Propiedades hidrofísicas del suelo.

#### Densidad del suelo

Para determinar las propiedades hidrofísicas del perfil del suelo se determinaron parámetros como dependencia del contenido de humedad, en la tabla 3.1 se observan los valores alcanzados. Las muestras obtenidas se consideran dentro de lo normal a escala de evaluación de la densidad aparente propuesta por (Martín y Durán, 2008).

**Tabla 3.1:** Valores de densidad del suelo.

Profundidad (cm)	Densidad aparente ( <i>da</i> ) g.cm <sup>-3</sup>
0-10	1,15
10-20	1,24
20-30	1,33
30-40	1,35
40-50	1,39

.En el presente suelo se percata como a medida que desciende la profundidad en el perfil, la densidad aumenta, así de esa manera concuerda con (Rodríguez, 2014) ya que la densidad aumenta a medida que se profundiza en el perfil. Los valores que se observan de este parámetro entre 1,15 y 1,24 se pueden determinar la presencia de arcilla en este tipo de suelo.

El suelo refleja un adecuado porcentaje de micro porosidad, lo que repercute en la capacidad de retención de agua, en la capacidad de infiltración y en el desarrollo radicular del cultivo y según (González, 2007) considera que con el aumento de la densidad del suelo, disminuye la porosidad total, el volumen ocupado por el aire dentro del cual está presente el oxígeno, el estado energético de las células de las raíces se afecta su proceso respiratorio, el movimiento del agua en el suelo, los



procesos de absorción de nutrientes, el crecimiento y desarrollo de la planta; así como los rendimientos del cultivo

### 3.2 Capacidad de campo

Durante los 50 cm de profundidad los valores de capacidad de campo (Cc) son adecuados para este tipo de suelo al compararse con lo que informa (Bagué, 2005), este aumenta en las profundidades subyacentes, lo que condiciona altas capacidades de retención de agua en el suelo, solo que el último valor tiende a disminuir. Bajo este comportamiento el agua disponible y fácilmente utilizable por el cultivo se mantiene por un mayor período de tiempo en el suelo. Bajo este comportamiento el agua disponible y fácilmente utilizable por el cultivo nos permite prolongar el intervalo de riego;

**Tabla3. 2:** Valores de capacidad de campo.

Profundidad(cm)	PSH (g)	PSS (g)	Cc (%)
0-10	78,09	36,37	28,37
10-20	77,49	37,52	29,23
20-30	78,83	36,93	29,35
30-40	79,31	36,59	33,28
40-50	77,6	37,44	28,60

**Nota:** PSH es el peso del suelo húmedo; PSS es el peso del suelo seco; Cc es la capacidad de campo

### 3.3 Caudal y velocidad de avance

En la tabla 3.3 podemos apreciar como los caudales con volumen de entrega de 103 ,1L y el de entrega de 144,65 L tienen una tendencia a aumentar, sin embargo en el que posee volumen de entrega de 230,65 L y el de riego continuo la tendencia es a disminuir, en el último riego la relación del caudal en el tratamiento A con respecto al tratamiento testigo es de 1,48 veces mayor.

**Tabla 3.3:** Caudal utilizado en los tratamiento durante los eventos de riego (L.s<sup>-1</sup>)

Tratamiento	Número de riegos				Med.
	1	2	3	4	
A	0,85	0,89	0,94	0,98	0,915 b
B	0,73	0,85	0,98	0,98	0,885 ab
C	0,98	1,02	0,85	0,89	0,935 a
D	0,80	0,44	0,77	0,66	0,667 a
CV					17,5%
Sig.					0,037

**Nota:** Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza.

. En el tratamiento D se observa que su caudal en el primer riego es 1,21 veces mayor que en el cuarto riego. Se hace visible que los caudales de entrega para cada tratamiento, arrojan un promedio de caudal de entrada muy por encima del caudal máximo no erosivo ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) calculado para este tipo de suelo y con valores de  $0,75 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , solo el tratamiento D presenta valores inferiores a  $Q_{m\acute{a}x}$ . El mayor caudal de entrada lo posee la variante C donde se utilizó el riego por surcos con intermitencias. Al superar el caudal máximo no erosivo esto puede ocasionar una erosión en el suelo y una pérdida notable de la capa vegetal del suelo.

Este fenómeno está dado porque el tratamiento C es el que mayores volúmenes de agua entrega por unidad de tiempo en cada intermitencia, permite esto en consecuencia que los gasto en un breve espacio temporal alcancen valores alto. Como se observa en la tabla, existe diferencia significativa entre el tratamiento A y el D y el C con un coeficiente de variación de 17,5% lo cual es muy aceptable para este tipo de investigación.

En el presente trabajo la práctica y volúmenes de agua utilizados fueron los valores que se emplean en la práctica cotidiana. Si observamos la tabla 3.4 en la cual se muestra el comportamiento de la velocidad de avance del frente de agua para todos los riegos, compartiremos criterios en que con excepción del tratamiento D los demás no cumplen con los parámetros de diseño, es este un aspecto negativo en el empleo del TDS debido a los grandes volúmenes de agua descargados en un corto tiempo.

**Tabla 3.4:** Velocidad de circulación ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) del agua durante los eventos de riego

Número de riegos					
Tratamiento	1	2	3	4	Med.
A	0,38	0,34	0,31	0,56	0,39 a
B	0,42	0,35	0,38	0,32	0,36 a
C	0,37	0,35	0,41	0,36	0,37 a
D	0,09	0,11	0,12	0,14	0,11 b
CV					38,3%
Sig.					0,029

*Nota: Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza.*

En el momento de obtener los cálculos de diseño se observó que la velocidad máxima de ( $0,27 \text{ m seg}^{-1}$ ), parámetro calculado según la ecuación de Mannign se tuvo en cuenta el área mojada, el perímetro mojado, el radio hidráulico y un coeficiente de rugosidad de 0,03 para surco sin vegetación. Según (García y

Fontova, 1998) y (Rodríguez, 2014) para suelos de texturas arcillosas el rango permisible de velocidad máxima es de 0,25 m s<sup>-1</sup>, parámetros recomendados internacionalmente. La velocidad circulación del agua por unidad de tiempo supera este indicador 1,08 veces.

### 3.4 Tiempo de avance

El tiempo de avance del riego es un parámetro el cual también tiene una gran importancia en el comportamiento de los parámetros técnicos del riego, este se observa para cada una de las estaciones, en la tabla 3.5 podemos apreciar los tiempos de avances promedio por tratamientos evaluados individualmente, nótese que en los tratamientos con volumen de entrega de 103,1L a una altura del sifón 0,46 m con respecto a la base del tanque y el tratamiento volumen de entrega de 144,65 L a una altura del sifón 0,31 m con respecto a la base del tanque y el de volumen de entrega de 230,85 L a una altura del sifón 0,16 m con respecto a la base del tanque en todo los caso el tiempo aumenta pero las proporción de tiempo entre distancia no responde al mismo crecimiento entre los tratamientos.

Estos tratamientos presentan patrones de tiempos similares entre estaciones, a diferencia del caso de caudal continuo y drenaje libre quien mantiene en todo el trayecto de las estaciones un patrón de aumento del tiempo, este supera el patrón de las estaciones finales en diez veces a las iniciales. Si nos detenemos en el tratamiento C, se observa como esta variante 7,3 veces menor a la velocidad del tratamiento D. Los tratamientos donde se utilizaron el riego por surcos con caudal intermitente demostraron que se puede regar más área en la misma unidad de tiempo comparado con el riego continuo, lo que representa un indicador de eficiencia, ahorro de energía y agua. Resultados similares fueron obtenidos por Rodríguez y Viera (2013).

**Tabla 3.5:** Tiempos de avances de los tratamientos.

Tiempo de Avance (min)							
Tratamiento	1	2	3	4	5	6	Med.
A	14,57	14,90	15,35	15,81	12,08	11,30	14 b
B	15,45	15,83	16,13	16,48	16,83	17,22	16,32 b
C	5,81	5,88	5,98	6,08	6,20	6,33	6,04 b
D	8,39	23,24	37,89	51,34	71,84	93,93	47,7 a
KW							17,7%
P-valor							0,00049

*Nota: Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza. KW: Estadístico de prueba de Kruskal-Wallis*

Esta reducción del tiempo de avance en las variantes donde se utilizó el riego con caudal intermitente se sustenta en los criterios de Carbajal (2004), (Nalvarte y Huachos, 2007), quienes demostraron que este efecto se origina por una reducción de la permeabilidad del suelo, esta es la principal causa de esta reducción la consolidación del suelo mojado durante la interrupción del flujo, debido a un incremento en la tensión suelo-agua. También puede ser ocasionada por la disminución de la rugosidad del surco y una sección de surco más estable durante la infiltración de agua entre pulsos y la entrada y captura de aire que ocurre entre intermitencias. Como se observa el p-valor es 0,00049 representa una diferencia significativa entre las muestras estadísticamente.

### **3.5 Tiempos de oportunidad**

Los tiempos de oportunidad se muestran en la tabla 3.6. Este aspecto es un factor importante porque debe asegurar una lámina infiltrada en el último tercio del surco capaz de cubrir la capa activa (H) del cultivo, de cada riego por cada una de las estaciones de cada tratamiento, que según plantea Cisneros (2003), es una de las principales limitantes del riego superficial ya que en el último tercio del surco se hace muy marcada la poca uniformidad en el patrón de humedecimiento del riego.

Podemos observar que el tiempo de oportunidad en los tratamientos con volumen de entrega de 103,1L y el de riego continuo existe una tendencia a disminuir paulatinamente y el que posee volumen de entrega de 230,85 L tiende a subir ligeramente, en el caso del tratamientos con volumen de entrega de 144,65 L en las tres primeras estaciones disminuye en la cuarta sube y luego vuelve a descender hasta la sexta y el riego continuo es 26 veces mayor que A, valores similares presenta con respecto a B y C, estos valores permiten que en el tratamiento D existe una infiltración mayor el último tercio con respecto a los demás tratamientos. Puesto que el p-valor (0,00012) es inferior a 0,05, hay diferencia estadística significativa entre las medianas a un nivel de confianza del 95,0%.

**Tabla 3.6:** Tiempo de oportunidad promedio por tratamiento durante el riego

Tiempo de oportunidad (min)							
Tratamiento	1	2	3	4	5	6	Med.
<b>A</b>	5,55	6,32	5,74	5,41	3,94	4,24	5,29 b
<b>B</b>	6,65	6,21	6,01	7,58	6,68	6,32	6,57 b
<b>C</b>	8,34	8,07	8,05	9,35	9,28	10,55	8,94 b
<b>D</b>	332,76	311,80	272,80	223,60	182,47	112,06	239,4
<b>KW</b>							20,60%
<b>P-valor</b>							0,00012

*Nota: Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza. KW: Estadístico de prueba de Kruskal-Wallis*

En investigaciones anteriores realizadas por Viera y Rodríguez (2013); Rodríguez (2014) se obtienen resultados con una tendencia similar a los resultados obtenidos en este trabajo, donde se ha mantenido una mejor uniformidad del riego y se logra así una mayor lámina de agua infiltrada capas de ser utilizada por la planta.

### 3.6 Tiempo de recesión.

Otro de los aspectos que se tienen en cuenta en los tiempos de riego es el tiempo de recesión, el cual es un aspecto fundamental para obtener los tiempos de oportunidad. Los valores de estos tiempos son muy inferiores con respecto a todos los tiempos anteriormente evaluados, pero en el caso de esta investigación como se observa en la tabla 3.7 los mayores tiempos de recesión pertenecen al tratamiento con caudal continuo y drenaje libre donde se aumenta en más de 3,75 veces al tratamiento a una altura de sifón 0,46 con respecto a la base del tanque, los demás tratamientos también difieren aunque en menor medida. Véase que el tratamiento a una altura del sifón de 0,16 es en un 48% mayor que el tratamiento A, esto está dado en su mayor medida por el diseño del TDS donde el tratamiento A es el de menores volúmenes de entrega y con tiempos “on” inferiores a los demás.

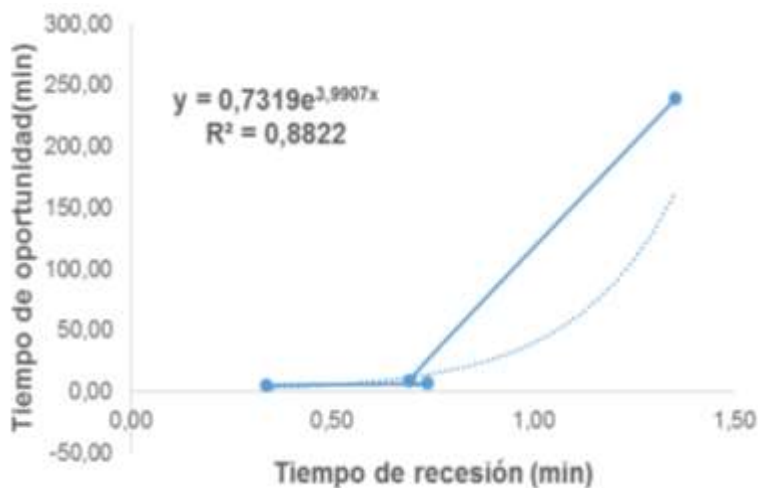
**Tabla 3.7 :** Tiempo de recesión promedio por tratamiento durante el riego

Tiempo de recesión (min)							
Tratamiento	1	2	3	4	5	6	Med.
<b>A</b>	0,61	0,37	0,35	0,29	0,29	0,11	0,36 b
<b>B</b>	0,59	0,85	0,90	0,67	0,85	0,55	0,73 ab
<b>C</b>	0,44	0,76	0,80	0,67	1,14	0,34	0,69 ab
<b>D</b>	1,97	1,91	1,07	0,92	1,07	1,20	1,35 a

<b>KW</b>		16,45%
<b>P-valor</b>		0,0009

*Nota: Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza. KW: Estadístico de prueba de Kruskal-Wallis*

Como se plantea anteriormente el tiempo de recesión es determinante en el tiempo de oportunidad, el figura 2 podemos apreciar como mediante el análisis de estimación curvilínea (regresión) entre el tiempo de recesión y el tiempo de oportunidad, el modelo que más se ajusta es el exponencial. Se ilustra una relación exponencial positiva con un coeficiente de correlación 0,88.



**Figura # 2: Relación del tiempo de oportunidad con respecto al tiempo de recesión.**

### 3.7 Tiempos de aplicación

Como se aprecia en la tabla 3.8 los tiempos de aplicación ( $t_a$ ) de los tratamientos donde se utilizó el riego con caudal intermitente fueron significativamente menores que donde se utilizó el riego continuo. El tratamiento a una altura del sifón 0,16 m es el de menor tiempo de aplicación en comparación con el resto de los tratamientos, donde se incluye al testigo el cual presenta riego continuo. El tratamiento C utiliza 7,3 veces menos tiempo que el tratamiento D, que representa el 14,21 % del tiempo de aplicación en testigo. En todos los tratamientos el tiempo de aplicación varía en los diferentes riegos, aunque se puede apreciar que el tratamiento a una altura del

sifón 0,31 m logra disminuir en 2,72 minutos. El tratamiento con riego continuo existen diferencias significativas entre el tiempo de aplicación del primer riego con respecto al último riego, véase que el cuarto riego disminuye en 49,7 minutos con respecto al primero, esto está explicado por el reacomodo del sedimento en el perfil del suelo y la disminución de la porosidad en la superficie del terreno.

**Tabla 3.8:** Tiempo de aplicación por riego en los cuatro tratamientos (min).

Tratamiento	1	2	3	4	Med.
A	21,77	29,78	39,97	22,83	23,6 b
B	20,95	27,22	26,75	23,67	26,3 b
C	19,37	24,67	28,67	20,70	24,6 b
D	136,30	90,08	109,60	86,60	105,6 a
KW					10,32%
P-valor					0,016

*Nota: Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza. KW: Estadístico de prueba de Kruskal-Wallis*

Se confirma que con el uso del TDS se logra un mejor aprovechamiento del agua ya que aumenta su oportunidad de infiltración a lo largo del surco. Criterio que justifica lo planteado por Nalvarte y Huachos (2007) y Rodríguez *et al.*, (2011).

Como se muestra en la tabla, existe diferencia significativa entre los tratamientos A, B, C y el tratamiento testigo que en este caso es D, para toda la muestra el coeficiente de variación es de 83,4 dados esto por la diferencia numérica de los datos obtenidos en el campo. En el caso de las variantes dependientes del TDS no existe diferencia significativa según las pruebas estadística. La prueba que se le realizo fue el test no paramétricas de Kruskal-Wallis.

La explicación del fenómeno del riego intermitente se debe a que entre un pulso y otro se produce un disgregamiento de terrones, un reordenamiento de las partículas y una migración de sedimentos que sellan la base del surco. Por otra parte al haber una interrupción de suministro de agua queda aire atrapado en los poros del suelo por eso con esta técnica de riego se puede regar más área en la misma unidad de tiempo respecto al método continuo

### 3.8 Secuencia de número de pulsos

Según criterios de investigadores del riego superficial, el número de pulsos utilizados está sujeto a la distancia a regar, aunque lo más común es el uso de 4 a 8 pulsos

para llegar al final del surco y realizar posteriormente uno de remojo. En nuestra investigación se obtienen resultados parecidos a los obtenidos por Rodríguez, (2014). Véase que no existe una acentuada diferencia entre los tratamientos del TDS y corresponde los parámetros de diseño para riego del dispositivo.

**Tabla3. 9:** Secuencia de número de pulsos por riego y tratamiento

Número de pulsos				
Tratamiento	1	2	3	4
A	6	9	13	8
B	5	6	6	6
C	4	4	5	4
D	1	1	1	1

### 3.9 Lámina Total Aplicada (La). (mm)

En la tabla 3.10 se representan los valores de la lámina total aplicada para los 4 eventos de riego. La mayor lámina total aplicada para los cuatro riegos la alcanza el tratamiento D que es mediante la tecnología de riego continuo es 6,65 veces mayor que el tratamiento B (riego intermitente) se observa que a lo largo del surco el área mojada en los tratamientos con riego intermitente presentan una tendencia similar en todas las estaciones. En el caso del tratamiento D que presenta al principio una buena capa mojada de 2,3 veces mayor a la parte final del surco es decir que el riego no es muy eficiente se puede regar más área con la misma unidad de volumen. Es necesario destacar que los caudales de riego a pesar de ser altos se desarrollan mediante prácticas comunes de los productores de la zona.

**Tabla3.10:** Lámina Total Aplicada (La). (mm).

Lámina Total Aplicada (mm)					
Tratamiento	1	2	3	4	Med.
A	41,16	61,48	86,45	52,99	60,52 b
B	33,99	51,41	59,89	56,37	50,41 b
C	42,79	56,33	54,81	45,82	49,93 b
D	226,07	81,25	158,02	107,65	143,24 a
KW					8,36%
P-valor					0,039

*Nota: Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza. KW: Estadístico de prueba de Kruskal-Wallis*



En la evaluación estadística de las cuatro variantes el nivel crítico se encuentra por debajo del prefijado en el experimento ( $p \leq 0,05$ ). Se aprecia que existen diferencias significativas en la lámina aplicada entre los tratamientos con un p-valor de 0,039.

Investigaciones realizadas por Viera y Rodríguez (2013) afirman que el uso del tanque de descarga por el fondo (TDF) en la tecnología de riego superficial por surco con caudales intermitentes y láminas de riego es 1,36 veces inferiores a la utilizadas con riego continuo, se demuestra que con el uso de esta tecnología se puede regar más área con la misma unidad de volumen y alcanzar mayor eficiencia para los lugares donde el recurso hídrico no es abundante.

Si tenemos en cuenta que el TDF, mantiene características estructurales similares al TDS y que este último entrega mayores caudales y en menor tiempo según (Viera y Betancuort, 2014), entonces podemos mantener la hipótesis del que el dispositivo TDS es una herramienta adecuada para el riego intermitente mediante prácticas comunes de los productores de la zona.

### **3.10 Infiltración**

En la tabla 3.11 se muestra las láminas de infiltración para cada riego para las seis estaciones. Como se puede apreciar existe estadísticamente diferencia significativa entre los tratamientos para un p-valor de 0,00027 inferior a 0,5, para un nivel de confianza del 95 %

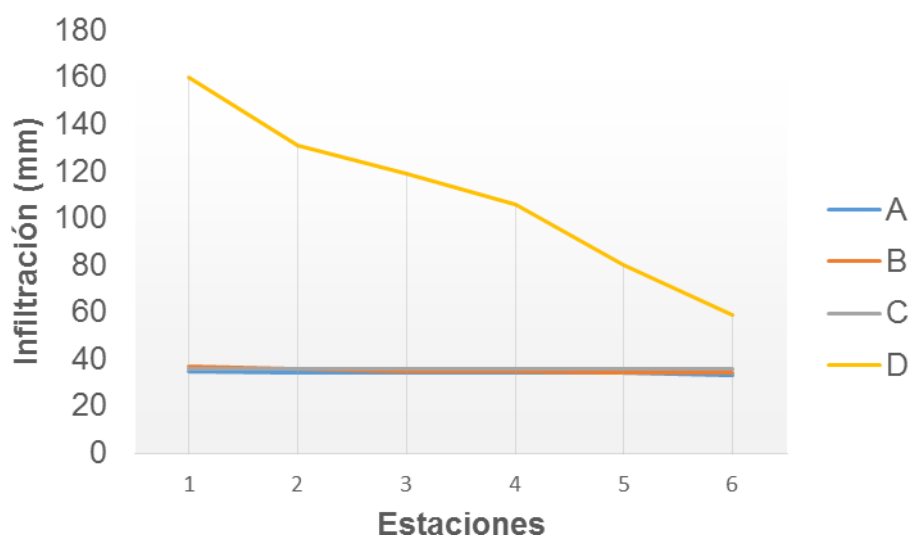
En los cuatro tratamientos existe una tendencia a disminuir su infiltración a medida que alcanza el final del surco, esta tendencia es característico en el riego superficial por surco (figura # 3), autores como Rodríguez, (2014) así como Viera y Alfonso, (2015) también obtuvieron resultados similares en sus trabajo de investigación. En el caso específico de esta investigación se puede apreciar que el tratamiento D mantiene en su inicio una lámina infiltrada que es 2,71 veces mayor que la que alcanza en el final del surco. En los tratamientos con caudal intermitente la lámina infiltrada se comporta homogénea desde sus inicios hasta el final del surco, esto un indicador de desempeño positivo en el riego por pulso.

**Tabla3.11:** Infiltración de los cuatro tratamientos por estaciones.

Tratamiento	Infiltración Promedio: Z(m)						
	1	2	3	4	5	6	media
<b>A</b>	0,035	0,034	0,034	0,034	0,034	0,033	0,034 b
<b>B</b>	0,037	0,036	0,035	0,035	0,034	0,034	0,035 b
<b>C</b>	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036 b
<b>D</b>	0,160	0,131	0,119	0,106	0,080	0,059	0,109 a
<b>KW</b>							18,99%
<b>P-valor</b>							0,0002

*Nota: Letras no comunes difieren según Tukey para un 95% de confianza. KW: Estadístico de prueba de Kruskal-Wallis*

En la actividad del riego es fundamental lograr una infiltración del agua que garantice las cantidades necesaria para el desarrollo fisiológico adecuado del cultivo, por otro lado se logra minimizar las pérdidas de agua por escorrentía y percolación profunda. Como vemos en este trabajo, con el uso del TDS se garantiza menos perdidas del recurso agua en los inicios del surco. Solo existe una ligera diferencia entre los tratamiento A y C en el final del surco la cual está dada en lo fundamental por los caudales de diseño utilizados en el TDS como dispositivo del riego superficial por surco con caudales intermitentes.



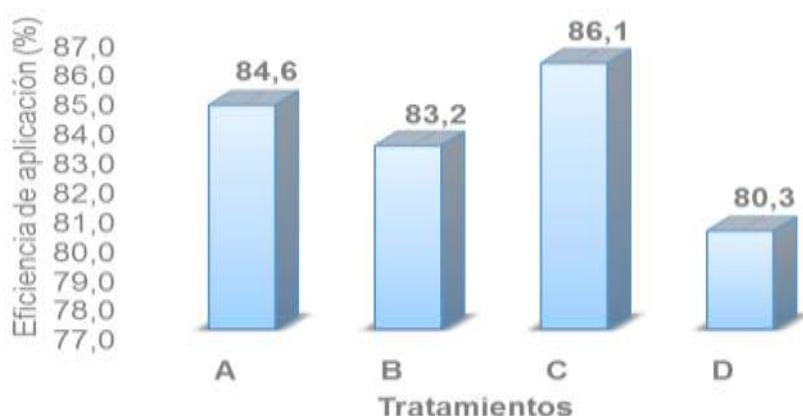
**Figura # 3:** Infiltración promedio de cuatro tratamientos a lo largo del surco.

### 3.11 Eficiencia de aplicación

En la figura #4: se representan los valores de eficiencia de aplicación (EAP) medio en las evaluaciones realizadas. El tratamiento con riego continuo es el de la

eficiencia de aplicación más baja seguido de forma cualitativa por el tratamiento con volumen de entrega de 144,65 L y el de volumen de entrega de 103,1L, la eficiencia está determinada directamente por los caudales de entradas, por lo que es normal que la tendencia de la eficiencia sea proporcional al volumen de agua entregado en cada tratamiento.

La eficiencia de aplicación en los tratamientos siempre estuvo por encima del 80 % donde se llega en ocasiones a superar el 86 % superiores a los rangos citados para este sistema de riego por (Camacho, Pérez y Roldan, 1997) citado por (Morábito, 2005), estos consideran que es habitual que la EAP del riego superficial oscile de 40 al 60%. Esta baja eficiencia se debe fundamentalmente a un mal manejo del riego condicionado por una alta variabilidad espacial y temporal en cuanto a las características del suelo. Esto unido a un conocimiento no exacto de las características de infiltración del suelo origina un mal manejo del riego. Según (Cisneros, 2003) la eficiencia de aplicación está muy relacionada con la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje pero si la llevamos a litros de agua útil en el suelo por cada 100 L aplicados (Figura #4), se puede apreciar que el tratamiento C aporta 86,1 L de agua útil para la planta, este supera al riego continuo en 5,8 L por cada 100 litros aplicados para este tipo de suelo.



**Figura #4: Eficiencia de aplicación promedio de los cuatro eventos de riego efectuados**

## Conclusiones

Los tratamientos donde se utiliza el TDS como dispositivo para el riego superficial por surco con caudales intermitentes lograron mejorar los tiempos de riego, propiciándose un ahorro de tiempo. Con valores de lámina aplicada adecuada para cultivos con sistema radicales poco profundos, disminuye en un 80% la  $L_a$  con respecto al riego continuo.

En cuanto a la infiltración se demostró que en los tratamientos A, B y C no existe una diferencia significativa, lámina infiltrada es homogénea en la longitud del surco, a diferencia del riego con flujo continuo que presenta altos volúmenes de agua en el inicio del surco. Con una eficiencia de aplicación inferior en el tratamiento D a la alcanzada por el TDS.

## **Recomendación.**

Continuar investigaciones similares sobre las técnicas de riego superficial para otros suelos de tradición en el municipio Sancti Spiritus, para garantizar científicamente la posibilidad de extender la modalidad de riego intermitente en toda el área cultivable donde se utilicen fuentes superficiales de agua.

Realizar actividades de capacitación a los campesinos para un mejor uso del recurso agua para la agricultura y para generalizar el riego intermitente en el municipio.

Que se tomen en cuenta los parámetros discutidos para investigaciones futuras, para su comparación con resultados bajo diferentes tipos de condiciones.

## Bibliografía

- 1-ALCAIDE, M. (2005). Riego por superficie. Ciego de Ávila, Cuba: Centros de estudios Hidrotécnicos
- 2-BAGUÉ, J. (2005). “Efectos de diferentes dosis de cachafé sobre los rendimientos del cultivo del tomate”. *Tesis en opción al título de Master en Ciencias Agrícolas*.
- 3- BELAUSTEGUIS, S. y MUSTIELES, A. (2014) Sistema de riego intermitente para el uso eficiente del agua Recuperado: 27 de febrero del 2014 de [www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/223-metodos-de-riego-en-trigo?fontstyle=f-larger](http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/223-metodos-de-riego-en-trigo?fontstyle=f-larger).
- 4- BISHOP, A. A., WALKER, W. R., ALLEN, N. L., & y POOLE, G. J. (1981). “Furrow advance rate under surge flow systems.” .
- 5-BROWN, O. (2000). Mejoramiento del diseño y el manejo del riego por surcos mediante un modelo matemático simplificado. *Tesis doctoral*. Ciego de Avila: CICT. UNICA.
- 6-CAMACHO, E., PÉREZ, C., y ROLDAN, J. y. (diciembre de 1997). Modelo de manejo y control en tiempo real del riego por surcos. *Ingeniería del Agua*, , vol. 4, nº 4, p.
- 7-CAMEJO, E. (2006). Relación Agua-Suelo-Planta-Clima. Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba.
- 8-CARBAJAL, L., & CARLOS, M. (2004). Metodología para el mejoramiento del uso del agua del riego empleando el sistema de riego intermitente. *Tesis de Maestría*. Univercidad Nacional La Molina, Lima, Perú.
- 9- CISNEROS, R. (2003). Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. . 6. CISNEROS, R. Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. 1ra ed. México: Centro de Investigac San Luís Potosí , México.
- 10-DELGADILLO, O. (Noviembre de 2000). Algunos apuntes sobre los métodos y tipos de riego campesino y su relación con el diseño de sistemas de riego.

*Ponencia presentada en el Seminario Internacional CORA. Cajamarca, Perú: Centro Agua.*

- 11-ECORIEGO. (14 de Marzo de 2011). 8. ECORIEGO. Riego por Caudal Discontinuo [en Divulgación técnica, 12 febrero 2008 [Consulta: 14 marzo 2011]. Disponible en: <http://www.argenpapa.com.ar>. Cordova, Argentina.
- 12-FAO. (20 febrero 2005) El agua y la seguridad alimentaria [en línea]. Italia, 14 abril 2004 Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/j0083s/j0083s00.pdf>.
- 13-FUENTES, F., ABREU, E., FERNÁNDEZ, E., y CASTELLANOS, M. (1999). Experimentación agrícola. *2da Ed.* La Habana, Cuba.
- 14-FUENTES, J. (1998). TECNICAS DE RIEGO. 3ra edición. España: Ministerio de agricultura pesca y alimentación.
- 15-GARCÍA, M. (20 de 5 de 2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay. Montevideo, Uruguay.
- 16-GARCÍA, E., y FONTOVA, M. (1998). Ingeniería de Riego. *1ra ed. Centro de Investigaciones Hidráulicas Instituto Superior Politécnico "José A. Echevarría".* La Habana, Cuba.
- 17-GARCÍA, J., DEHOGUES, E., TIZONOVA, & LILIANA. (1996). El riego. La Habana, Cuba: 1ra ed. Pueblo y Educación.
- 18-GONZÁLEZ, P (2008). Introducción al riego y drenaje. 1ra ed. La Habana, Cuba: Convenio Bilateral Cuba- Venezuela IIRD,. pp. 1- 66.
- 19-GONZÁLEZ, A.; RIVAS, S. y CASTILLO, A. (2007). Efecto del sobre humedecimiento en algunas propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar. Granma, Cuba: Universidad de Granma (UDG).
- 20-GRASSI, C. (1998). Fundamento de Riego. Centro Internacional de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CDIAT), Mérida , Venezuela: 2da ed. p. 118.
- 21-HARMD, S., y STRINGHAM, G. (mayo de 1978). Maximum erosive furrow irrigation Stream Size. *Journal of Irrigation and Drainage*. Divisio ASCE, vol. 5, No. 104, pp. 275-281.

- 22-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, ROSA.; PANEQUE, J. y MESA, Á., (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. 1ra ed. Ciudad de La Habana: AGRINFON Ministerio de la Agricultura. p. 64. ISBN 959-246-022-1.
- 23-HERNÁNDEZ, A.; ASCANIO, M.; MORALES, M. y CABRERA, A., (2005). Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. 1ra ed. La Habana, Cuba: INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS (INCA).
- 24-HORTON, R. (1940). An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Soc*, No. 5, pp. 399-417.
- 25-ISRAELSEN, O. y HANSEN, V (1965). *Principios y Aplicaciones del Riego*. Barcelona, España.
- 26-KIRILOVA, I., & PAVÓN, C. (1986). *Hidromel oraciones de Riego*. La Habana , Cuba: 1ra ed. Editorial Ministerio de Educación Superior.
- 27-KOSTIAKOV, A. (1932). On the dynamic of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for propose of amelioration. Moscow: *Trans. Sixth Com. Int. Soc. Soil. Sci.* pp. 17-21.
- 28-LANDINI, ANA.; MARTÍNEZ, D.; DÍAS, H.; SOZA, E.; AGNES, D. y SAINATO, CLAUDIA. (2007). Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura. *Ciencias del Suelo (Argentina)*, vol. 25, nº 2, pp. 123-131.
- 29-LEÓN, A. (2002). *Hidrometría de las conducciones libres y forzadas*. 1ra ed. La Habana, Cuba.
- 30-MARTÍN, N. y DURÁN, J. L. (2008). *El Suelo y su Fertilidad*. La Habana. Cuba: Primera ed. San José de Las Lajas, UNAH. p. 170.
- 31-MORÁBITO J, A. (2005). 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.* . Mendoza, Argentina.

- 32-MORÁBITO, S., & PRIETOr, D. (14 de agosto de 2008). Evaluación de campo al riego de agricultores, casos prácticos y ventajas para la difusión de la tecnología apropiada; Asesoramiento para los regantes para la modernización de los regadíos y su ambientalidad. La Antigua , Guatemala.
- 33-NALVARTE, R.; R. HUACHOS: *Necesidades de agua y evaluación de los sistemas de riego intermitente y continuo en el cultivo de Brócoli.* Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola: UNALM, Lima, Perú. 2007.
- 34-PACHECO, J.; ALONSO, N.; PUJOL, P. y CAMEJO, E. (2006).: *Riego y Drenaje*, 170pp., 2da. ed. Ed. Félix Varela, ISBN 959-258-999-2, La Habana, Cuba, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 23,
- 35-PÉREZ, R. (2004). Modernización de las formas de entrega de agua a los surcos en el riego superficial. *Proyecto 22-17.* Departamento Investigaciones, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje del Ministerio de la Agricultura, C. Habana.
- 36- PÉREZ, R., & CID, G. (2008). El Riego Superficial. *Convenio Bilateral Cuba - Venezuela.* La Habana, Cuba: IIRD. p. 49.
- 37-RODRIGUEZ y SANTANA. (2003). Evaluación de la modalidad de riego intermitente en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) en Banao Sancti Spíritus. *Trabajo de Diploma.* Sancti Spíritus, Sancti Spíritus, Cuba.
- 38-RODRÍGUEZ, M.; M. SANTANA; F. ALONSO; B. DELGADO: Mejoramiento del riego por surco en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) con el uso de un Tanque de Descarga por el Fondo, En: Uniss. I Conferencia Científica Internacional de la Uniss (YAYABOCIENCIA, 2011), 28-30 del mes de noviembre 2011, ISBN: 978-959-250-730-6, Feijoo y la Uniss, Sancti Spiritus, Cuba, 2011.

- 39-RODRÍGUEZ, M. (2014). Mejoramiento de riego por surco con caudal intermitente, asociado al cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.), en suelo ferralítico rojo lixiviado. Sancti Spíritus, Sancti Spíritus, Cuba.
- 40-ROQUÉ, C. (10 de Marzo de 2009). Caudal discontinuo, la última vanguardia en la técnica del riego. Argentina.
- 41-ROMAY, C. (2004). Riego por pulsos Optimización de la eficiencia de riego.
- 42-SANTANA, M. (2007). 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 premontaña. Ciego de Avila, Ciego de Avila, Cuba.
- 43-VIERA y ALFONSO (2015) Efectos de la dinámica de riego por surcos con caudal intermitente sobre suelos Pardo Sialítico Carbonatado en áreas de cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L).
- 44-VIERA, R. A.; RODRÍGUEZ, M. y SANTANA, M.( 2013) .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,. h. 98.
- 45-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.
- 46-WALKER, R and SKOGERBOE (1987) “ Sufarce Irrigation Theory and Practice” Utah State University . Prentice- Hall.