

Universidad de Sancti Spíritus

“José Martí Pérez”

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Departamento de Agronomía

TRABAJO DE DIPLOMA



***COMPORTAMIENTO DEL ESCURRIMIENTO
SUPERFICIAL EN LA TECNOLOGÍA DE RIEGO
INTERMITENTE POR SURCO CON EL USO DEL TANQUE
DE DESCARGA POR SIFÓN***

AUTOR: ONELIA RODRÍGUEZ POLANCO

Sancti Spíritus, 2016



Universidad de Sancti Spíritus

“José Martí Pérez”

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Departamento de Agronomía

TRABAJO DE DIPLOMA

***COMPORTAMIENTO DEL ESCURRIMIENTO
SUPERFICIAL EN LA TECNOLOGÍA DE RIEGO
INTERMITENTE POR SURCO CON EL USO DEL TANQUE
DE DESCARGA POR SIFÓN***

Autor: Onelia Rodríguez Polanco

Tutor: Msc. Rubén A. Viera Marín.

Sancti Spíritus, 2016

Agradecimientos

A toda mi familia, por su contribución, entendimiento y apoyo. Especialmente a mis padres Martha Polanco León y Lorenzo Rodríguez Rivero quienes supieron conducirme y apoyarme no solo por las virtudes sino también por las críticas en el momento oportuno. A mi compañero Héctor Rodríguez por estar a mi lado.

Solo el camino al éxito es seguro, cuando se cuenta con el apoyo desinteresado y exigente de compañeros como él: MSc. Ing. Rubén A. Viera Marín, tutor insuperable de esta investigación, a los profesores de la Universidad de Sancti Spiritus José Martí Pérez que me dieron este conocimiento, el agradecimiento permanente.

Quiero expresar un profundo agradecimiento a un grupo de personas y amigos allegados que han formado parte de la preparación de este trabajo y de mi formación profesional de los cuales me siento eternamente agradecida.

Muchas Gracias a todos

Dedicatoria

A mi madre por haberme sabido guiar a través de la vida y por encontrar siempre en ella el apoyo necesario para seguir adelante.

A mi padre, por sentirse orgulloso de mí

A mi familia en general por formar parte de mi vida y estar presentes para mí en todo momento, en especial a mi tía Olga Polanco que aunque no se encuentra físicamente siempre me brindó su apoyo para convertirme en lo que soy hoy en día.

A la Revolución Cubana por haberme posibilitado llegar hasta aquí y ser el profesional que soy hoy día.

Pensamiento

*"El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza."
Leonardo da Vinci*

SÍNTESIS

El presente trabajo se realizó en la finca perteneciente al productor Ángel Bermúdez, asociado a la CCSF "10 de Octubre". Esta está ubicada en la carretera del Jíbaro al Sur de la ciudad de Sancti Spíritus. En un suelo Gley Vértico. Se presentan los resultados investigativos correspondientes al riego de caudal intermitente y un tratamiento testigo de riego continuo, con el empleo de un diseño de parcelas en cuatro franjas, el tratamiento A esta definido por un caudal de diseño del Tanque de Descarga por Sifón de 103L; el B de 144L; el C de 230L y el tratamiento testigo mediante el riego con caudal continuo. Se busca como objetivo, evaluar lámina total aplicada, escurrimiento superficial y la variación del perfil del surco. Como parte de los estudios del diseño se obtuvo gasto máximo erosivo de 0.75 l/s, que solo el tratamiento D estuvo por debajo de este índice. La mejor lámina total aplicada para todos los tratamientos la alcanza el tratamiento (C) siendo 2.8 veces menor que el testigo. En cuanto a la lámina escurrida el tratamiento D supera 1.6 a los demás, la producción de sedimento, el D en un 62 % mayor y mientras que es de menor intensidad de escurrimiento. En la variación del perfil del surco se presentan pérdidas hasta 60cm² en el primer y segundo tercio, mientras que el tercer tercio presenta ganancias. Estos valores ratifican la superioridad de los riego con caudal intermitente sobre los método tradicional.

SYNTHESIS

The present work was carried out in the farmer Ángel Bermúdez's property, associated to the CCSF "October 10", located in the highway from the Jíbaro to the South area of Sancti Spíritus province. In a Gley Vértico type ground. The investigative results corresponding to the watering of intermittent flow and a witness treatment of continuous watering are presented, with the employment of a design of parcels in four fringes, the A treatment is defined by a designed flow of a 103L Siphon Discharged Tank for; a B 144L; C 230L and the witness treatment by means of the watering with continuous flow. It is looked for as objective, to evaluate the total sheet applied, superficial drain, and the variation of the furrow profile. As part of the studies of the design it was obtained an erosive maximum expense of 0.75 L/s being only the D treatment the one below this index. The best total sheet applied for all the treatments was treatment (C) being 2.8 times minor than the witness treatment. As for the drained sheet the treatment D overcomes the other ones in 1.6. The sediment production, treatment D in a 62% bigger, while it is of smaller drain intensity. In the variation of the profile of the furrow are presented some losses up to 60 cm² in the first and second third, while the third one presents some earnings. These values ratify the superiority of the watering with intermittent flow on the traditional method.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. Generalidades del riego	4
1.2. Riego en Cuba	5
1.3 Definición y objetivos del riego.	6
1.4 Riego superficial	7
1.4.1 Ventajas del sistema de riego superficial	9
1.4.2. Desventajas del sistema de riego superficial	9
1.5. Riego por surcos	9
1.5.1. Factores que intervienen en el diseño de riego por surco	10
1.5.2 Fases del riego por surcos	10
1.6.Riego intermitente	12
1.6.1. Ventajas del riego intermitente	13
1.6.2. Desventajas del riego intermitente	14
1.7.Relación del riego con las propiedades hidrofísicas del suelo	14
1.8 Velocidad de infiltración del agua en el suelo	15
1.8.1 Factores que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración	15
1.8.2 Características de infiltración del suelo	16
2. Materiales y Métodos	18
2.1 Propiedades hidrofísicas del suelo.	19
2.2 Evaluación de los parámetros del riego.	21
2.2.1 Velocidad de avance y Caudal máximo no erosivo	21
2.2.2 Aforo del agua	22
2.2.3 Lámina total aplicada	23
2.2.4 Medición del escurrimiento superficial	23
2.2.5 Medición de la variación del perfil del surco.	24
2.3 Procesamiento estadístico	24
3. Resultados y Discusión	25
3.1 Densidad del suelo	25
3.2 Capacidad de campo	25
3.3 Velocidad de avance.	26
3.4 Aforo del agua	27
3.5 Lámina total aplicada	28
3.6 Medición del escurrimiento superficial	30
3.6.1 Lamina escurrida	30
3.6.2 Intensidad del escurrimiento	31
3.6.3 Producción de sedimento	32

3.7 Medición de la variación del perfil del surco.	33
4. Conclusiones	38
5. Recomendaciones	39
6. Bibliografía	40

INTRODUCCIÓN

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos. Las civilizaciones han sido dependientes del desarrollo de la agricultura bajo riego, para proveer la base agrícola de una sociedad y aumentar la seguridad de la alimentación. En la mayoría de los países del mundo en vías de desarrollo, la agricultura es considerada como la principal fuente de riqueza, un aumento de la producción agrícola en estos países, es el principal requisito para acelerar el desarrollo rural y económico de las comunidades. (Escalona, 1998).

El riego superficial presenta una importancia relevante en el desarrollo del regadío, no solo por corresponder aproximadamente el 80% de las áreas regadas en el mundo, sino porque es el método más apropiado técnicamente, para suelos llanos y pesados económicamente para muchos cultivos y sistemas de producción. La euforia del desarrollo económico con bajos costes de energía llevó a una gran expansión el riego por aspersión y del riego localizado, muy particularmente la mecanización del riego por aspersión recurriendo a la alta presión; naturalmente el interés por los métodos de los riegos por superficie disminuyó sobre todo en Europa, donde tales sistemas tradicionales son altamente absorbedores de la mano de obra, y se han convertido en inviable económicamente. Pese a ello, la evolución de los precios de la energía puso en entre dicho el desarrollo del riego por aspersión, suscitando nuevas soluciones en el ámbito de la baja presión, principalmente de las redes de distribución para el riego de gravedad (Pereira *et al* ,2003) y provocó un nuevo interés por el riego por superficie. El uso generalizado de las nivelaciones de precisión con control por láser creó condiciones para regar con uniformidad grandes superficie, auxiliándose equipamientos de automatización el riego, lo que resolvió los problemas asociados a los altos consumos de mano de obra como es caso del desarrollo y modernización del riego por superficie en países como Estados Unidos y Canadá. Paralelamente, se ha asistido a un fuerte desarrollo de las técnicas de gestión del agua en riego de gravedad, tanto a nivel de explotación agrícola como en los sistemas de transportes y distribución, para tratar maximizar los beneficios del riego y responder a las necesidades de conservación y valorización de los recursos naturales.

El riego superficial ha sido y es objeto de investigación para la mejora de los procesos y prácticas de riego. Se han desarrollado métodos de evaluación (Merriam y Keller, 1978; Walker y Skogerboe, 1987) para permitir la obtención de indicadores de funcionamiento de los sistemas y sobretodo, fundamentar los cambios a introducir para mejorar el uso y la productividad del agua en regadíos (Li, 1999; Fabiao *et al*, 2003). Igualmente en gran medida para emplear los datos de evaluación en el campo, se han desarrollado modelos de simulación de riego por superficie (Walker y Skogerboe, 1987) que constituyen herramientas esenciales para el proyecto y para la evaluación. Una innovación actual es poder recurrir a las técnicas de optimización para la obtención de los parámetros que caracterizan la infiltración y la rugosidad hidráulica en los modelos. Como es conocido, gran parte de los campos del mundo es regado mediante un sistema de riego superficial (98%), los mismos que presentan eficiencias muy bajas (30-40%) donde se evidencia la existencia de este problema, por lo que se hace necesario incrementar la eficiencia de riego. Para ello, se propone fomentar la difusión y adopción de cambios tecnológicos sostenibles para lograr incrementar la eficiencia en el uso del agua de riego. Además de contar con proyectos que permitan mejorar las características técnicas de la infraestructura menor de distribución, medición y control.

En los últimos 20 años, se ha producido un mayor desarrollo tecnológico para el riego por surcos, junto con los avances relacionados a la nivelación láser, se tiene la opción de realizar la tecnificación de un sistema de riego superficial, para emplear el sistema de riego intermitente, el cual se presenta como una importante alternativa a los problemas encontrados en un riego superficial tradicional, esto se fortalece al considerar la ventaja con que cuenta la costa Peruana, al contar con una topografía favorable para aprovechar los desniveles como fuente natural de energía.

El sistema de riego intermitente, el cual vendría a ser una variante del sistema de riego superficial tradicional, presenta como característica principal el poder aplicar el agua de manera intermitente, a través de los llamados ciclos de riego, para obtener como resultados final, la reducción de las pérdidas tanto por percolación profunda como por escorrentía. Para lograr estos beneficios es necesario contar con el diseño y la política de operación más acertada. Uno de los principales requerimientos del sistema de riego intermitente, es conocer los tiempos de riego que se emplearían en cada intermitencia

(ciclo), a fin de operar el sistema de una manera óptima, para lograr así una mayor eficiencia de aplicación. Para alcanzar esta información, se cuenta con diversos métodos, como son los modelos matemáticos que los más recomendables, a través de ellos se logra describir todo el fenómeno, mediante las simulaciones numéricas, para así tener como resultado final, un diseño del sistema con la seguridad de que el agua aplicada se ha distribuido de una manera uniforme a lo largo del terreno. En la República de Cuba el riego superficial ocupa alrededor del 45% del área beneficiada, se utilizan otros métodos como la aspersión y la microirrigación, pero las condiciones económicas actuales y el costo de los energéticos no permiten sustituir completamente el riego superficial por métodos más eficientes. Esta situación no es exclusiva de nuestro país sino que prevalece en la mayoría de los países del tercer mundo y hace favorable el uso del riego superficial en el futuro; por consiguiente, cualquier esfuerzo por mejorar la agricultura de regadío a escala mundial necesitará solucionar los diversos problemas que afectan el rendimiento del agua, la energía y los cultivos agrícolas donde se aplica este método de riego. De aquí la importancia de incrementar su eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución (Brown, 2000 y Santana, 2007).

La modernización del manejo del agua en el riego superficial, tiene como objetivo mejorar la efectividad del regadío e incrementar su productividad agrícola, para lograr así el resultado de inversiones en investigación - desarrollo - extensión agraria. No obstante en Cuba, este método de riego continúa siendo el de mayor atraso tecnológico, a pesar de ocupar aproximadamente, el 70 % del área total bajo riego. Por eso debemos emplear nuevos materiales y métodos para lograr un buen desarrollo en el sistema de regadíos de la agricultura en el país.

Situación problemática:

El riego es una de las principales limitantes que influyen en la producción de los cultivos, tanto por su eficiencia como por complejidad tecnológica la cual no se encuentra a disposición de los productores, convirtiéndose en una de las labores culturales que más afectación trae consigo a la productividad de los suelos. Aún es deficitario el conocimiento científico en cuanto a los parámetros principales de diseño del riego superficial por pulso, tanto para profesionales como para productores agrícolas que demandan de esta actividad.

En el país existe la necesidad de aumentar las producciones agrícolas, por lo que se buscan alternativas para ello. Entonces emplearemos el riego por pulso, alternativa nueva de la cual esperamos resultados importantes en el aumento de las producciones.

Problema científico:

¿Cómo influye el TDS sobre los parámetros hidráulicos del suelo en la tecnología de riego superficial por surco?

Hipótesis

Si evaluamos en el riego superficial intermitente parámetros como el escurrimiento superficial y la variación del perfil del surco. Entonces estamos en condiciones de conocer el efecto del Tanque de Descarga por Sifón sobre el suelo para el aprovechamiento del riego con la disminución de la erosión hídrica.

Objetivo general:

Evaluar la influencia del Tanque de Descarga por Sifón sobre los parámetros hidráulico del suelo en la tecnología de riego superficial con intermitencia.

Capítulo I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Generalidades del riego.

Se plantean que 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 para el 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).

El agua que requieren los cultivos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es necesario aportarla artificialmente, es decir a través del riego. Por otra parte, es sabido que las actividades agropecuarias son la base de la alimentación y de sobrevivencia para el hombre, por esta razón cada una de sus áreas o disciplinas de estudio e investigación, deben fortalecerse para producir más con menos recursos y a un menor costo. El riego agrícola, por su estrecha relación con el uso, el manejo y la conservación del agua, es una de estas áreas dentro de la agricultura que requiere de mayores estudios, avances tecnológicos y de la aplicación de los mismos sin deteriorar el medio ambiente. El riego, se considera como una ciencia milenaria, en algunos países el riego se estableció como una actividad de vital importancia, entre los casos de pueblos con vocación en la irrigación se tienen a los antiguos egipcios, chinos, babilonios e hindúes. En México, un ejemplo clásico de sistemas de riego antiguos son las chinampas, sistemas de producción agrícolas sobre los lagos, utilizados por los aztecas antes de la época de la conquista con la finalidad de producir los cultivos básicos de su alimentación en forma segura; el sistema en sí

combina el conocimiento del riego subterráneo con la hidroponia (cultivo de plantas sin suelo), (Cisnero, 2003)

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. Isaac Asimov y Frank White en su libro "*El paso de los milenios*", citan un comienzo de la agricultura bajo riego en las civilizaciones que se asentaron en el valle del Tigris - Eufrates. 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 (Roqué, 2009).

Después de los 80's, en todo el mundo fue desarrollándose el riego como una ciencia evolutiva de tal manera que las técnicas año con año, son cada vez mejores porque conjunta ahorro de agua, ahorro de energía y al ser extensivas abaratan los costos, con un aumento en la producción importante. En ésta época se introducen técnicas de fertilización y aplicación de químicos a través del riego, lo que se ha denominado fertigación y quemigación. Esta práctica ha desencadenado una alta productividad en los cultivos y ha hecho más eficiente el uso de los recursos. (Cisnero R., 2003)

1.2 Riego en Cuba.

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. 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 Cuba el riego 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. 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) citado por (Santana, 2006), 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 (Camejo, 2006).

En nuestro país el Riego Superficial ocupa casi un 70 % del área total irrigada, (Rosenfeld, 2005) Estos sistemas de irrigación presentan en sentido general, un reconocido atraso tecnológico, sobre todo en cuanto a: formas de entrega de agua a las parcelas, nivelación de las áreas, mantenimientos, y obras hidrotecnias. 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, 1986). Citado por (Santana, 2007).

1.3 Definición y objetivos del riego.

En términos generales, éste consiste en la aplicación artificial del agua al terreno para que las plantas (cultivos) puedan satisfacer la demanda de humedad necesaria para su desarrollo (Morábito J, 2005).

Los objetivos del riego son:

1. Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos se desarrollen.
2. Proporcionar nutrientes en disolución.
3. Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
4. Refrigerar el suelo y la atmósfera para mejorar el medio ambiente de la planta.
5. Disolver las sales contenidas en el suelo.
6. Reducir el contenido de sales de un suelo existiendo un adecuado drenaje.

Las cantidades que se señalan sirven como información general, ya que se puede usar un riego tecnificado como riego por surcos, pero emplear mucho tiempo de riego con lo que se producirá una excesiva percolación profunda o escurrimiento superficial, con disminución en la eficiencia. También puede suceder que se use un riego tecnificado por surcos y se tenga una mayor eficiencia que la señalada. 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, Walker, Allen, y Poole, 1981). Es una tecnología emergente que puede alcanzar alta eficiencia de aplicación en comparación con el riego continuo convencional (Pacheco, 2006) 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.

El riego intermitente, riego por impulsos o *surge flow* consiste básicamente en hacer la entrega del gasto al surco de forma intermitente para aprovechar entre un impulso y otro que con el hinchamiento y reacomodo de las partículas de suelo se incremente 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, 2011)

1.4 Riego superficial

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 (Fig. 1), 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, 2011).



Figura 1: Patrón típico de humedecimiento del riego continuo.

Del análisis de la figura 1 se destaca:

Hay un exceso de agua en los aportes realizados en la cabecera del surco, con aumento en la zona radicular, con drenaje de la profundidad. En el pie del surco el agua no ha alcanzado a cubrir los requerimientos mínimos, perdiéndose parte de la misma por el desagüe. La eficiencia en el uso de agua no supera el 50%.

En toda área bajo riego se producen pérdidas y desperdicios que afectan la eficiencia del riego; las mismas dependen de varios factores, entre ellos las características del suelo, la pendiente, el tamaño del área, el manejo del agua por el regante, etc.

La eficiencia de aplicación de agua está relacionada con la cantidad de agua que debe suministrarle al suelo en cada riego, en dependencia 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. La eficiencia de aplicación de agua es para (Israelsen, 1965) 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. La eficiencia de aplicación se ve así afectada por las pérdidas por escurrimiento y percolación profunda. 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. Cuando los sistemas de riego por superficie están mal diseñados u operados, o cuando 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.

El riego superficial es el método de irrigación más difundido en el mundo. En la actualidad se ha avanzado significativamente en procedimientos, metodologías y tecnologías que han permitido modernizar y hacer competitivo al riego por superficie (Pérez R. y., 2008). 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.

1.4.1 Ventajas del sistema de riego superficial

- 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

1.5 Riego por surcos.

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 la 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, Santana, y Delgado, 2011)

1.5.1 Factores que intervienen en el diseño del riego por surcos

La gran cantidad de variables e interacciones que involucran al riego por superficie lo hace un proceso complejo, difícil de predecir o simular cuantitativamente para alcanzar altos niveles de desempeño. Durante años las únicas ayudas para ingenieros en riego eran tablas y fórmulas simples que dieron solo pautas o guías poco precisas (Jurriens, Zerihum, y Boonstra, 2001). Los parámetros físicos que determinan el resultado de un evento de riego pueden agruparse en: (i) variables del sistema (parámetros físicos cuya magnitud puede cambiar en un amplio rango en función de la decisión del usuario) y (ii) parámetros del sistema, son parámetros físicos propios del sistema y que poco o nada de margen de cambio tienen (Reyen y Zerihun, 2010). Como parámetros del sistema podemos considerar a: lámina de riego a aplicar (y_t), velocidad máxima del agua admitida para evitar erosión, pendiente del terreno (S), coeficiente de rugosidad (n), parámetros de la ecuación de infiltración (a , b , f_0), geometría de surcos. Las variables del sistema son: caudal de manejo (Q), tiempo de riego (t_a , t_o , t_{av} y t_r), y en menor medida la longitud de la unidad de riego (L). Para mejorar el sistemas de riego es necesario, la caracterización de parámetros físicos ya que influyen en los procesos hidráulicos del riego, que determinan la uniformidad y la aplicación del agua sobre la superficie (Schilardi y Morábito, 2009).

1.5.2 Fases del riego por surcos

El riego por surcos se compone de cuatro fases: (1) fase de avance, (2) fase de almacenamiento, (3) fase de consumo y (4) fase de recesión (Pérez, 1995); (Mujica, 1997).

Fase de avance

La fase de avance del riego superficial ha tenido una atención considerable debido al comportamiento del tiempo de oportunidad en los dos extremos del campo de riego (Bishop, Walker, Allen, & y Poole, 1981). El objetivo del diseño y manejo del riego

superficial es generalmente completar la fase de avance tan rápido como sea posible para minimizar la diferencia entre estos tiempos de oportunidad. Para esto se recomienda aplicar un gasto grande durante la fase de avance y reducirlo posteriormente o asociar un sistema de reutilización del escurrimiento para disminuir las pérdidas por percolación profunda y por escurrimiento.

Fase de Almacenamiento

Es la parte del tiempo de riego entre el tiempo de avance y el tiempo donde se corta el suministro del gasto de entrada. Si el gasto de entrada se corta antes de que el frente de avance alcance el límite más bajo del campo, la fase de almacenamiento no existe. El almacenamiento superficial se define como el volumen de agua que permanece sobre la superficie del surco y es una función de la sección transversal, la pendiente, la rugosidad y el gasto, el cual cambia con el tiempo antes que el flujo alcance el régimen uniforme pues el perfil superficial varía lentamente en relación al tiempo antes de alcanzar el final del surco. (Rodríguez M., 2014).

Fase de consumo

Al suspenderse el suministro de agua al surco, comienza la fase de consumo que se caracteriza por el decrecimiento del tirante en su extremo inicial.

Fase de recesión

Al reducirse a cero el tirante en la sección superior del surco, comienza la fase de recesión, y el riego se completa cuando la onda de recesión alcanza el final del surco. Esta onda representa un caso del movimiento impermanente, no uniforme y espacialmente variado, con un flujo lateral establecido, Brown (2000)

Según (Brown, 2000), citado por (Rodríguez M, 2014) señaló que la recesión tiene dos partes: la recesión vertical y la horizontal. La recesión vertical ocurre cuando se corta el agua que entra en el surco y el tirante comienza a descender en su extremo inicial; mientras el frente de agua aún continúa con avance hasta el final del surco. La fase finaliza cuando el tirante se hace cero en la sección superior. Cuando el agua inicia el retiro a lo largo del surco, se inicia la recesión horizontal en tanto que el frente de agua aún continúa con su trayecto hacia el extremo final y finaliza cuando el agua se ha infiltrado completamente en el surco.

1.6 Riego intermitente

El riego intermitente, caudal discontinuo, también llamado riego por impulsos o "surge flow" en los Estados Unidos de Norte América, 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, con modificaciones y mejoras en cada uno de los parámetros intervinientes en el funcionamiento de este antiguo método. Isaac Asimov y Frank White en su libro "El paso de los milenios", citan un comienzo de la agricultura bajo riego en las civilizaciones que se asentaron en el valle del Tigris - Eufrates. Al presente, durante 9000 años, pocas mejoras tecnológicas fueron introducidas para el sistema hasta el comienzo de la década de los 80 cuando empieza a difundirse esta técnica. 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" está en competencia 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 (Roqué C., 2009).

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 va reduciendo la infiltración y la resistencia a la rugosidad de la superficie del suelo, para conseguir 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, para así lograr 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; cuando cesa el

flujo del agua las partículas de arcilla continúan su expansión, disminuyendo 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.

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, siendo 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, con la dispersión de las partículas en los poros y grietas, con la provocación de un proceso de “sellado”. Por esta razón el agua del próximo ciclo avanza en forma más rápida sobre la tierra húmeda (Ecorriego, 2008).

1.6.1 Ventajas del riego intermitente:

- Se puede usar en cualquier cultivo que se riegue en hileras, como hortalizas (ajo, cebolla, semillas, tomate), frutales de carozo y pepita, forestales (álamos y eucaliptos), algodón, cereales, oleaginosas, caña de azúcar y otros.
- Se aumenta la eficiencia del riego, ya que toda el agua que sale de la fuente va a parar al surco.
- Se puede usar en longitudes de 200 a 1000 metros, según textura y pendiente. En el mismo tiempo se puede impulsar el doble de agua que en el riego tradicional.
- Se puede aplicar láminas de baja erosión. La infiltración es menos profunda y se asemeja al goteo en eficiencia.

- Bajo consumo energético. El sistema funciona con menos de 0,5 kg/cm² de presión, por lo tanto la fuente puede ser una represa o una bomba de caudal relativo.
- El riego es más uniforme.
- Ahorra un 30-50 por ciento de agua de riego.
- El costo inicial es relativamente bajo.
- El costo de mantenimiento es casi nulo, comparado con otros presurizados.
- Se reduce el uso de la mano de obra.
- Ahorra un 20,25 por ciento de fertilizantes nitrogenados.
- Se puede regar surco por medio en caso de pendientes menores a 0,4 por ciento. Es el caso del maíz sembrado a 0,7 metros.

1.6.2 Desventajas del riego intermitente:

- La habilidad de poner aplicaciones más ligeras puede irrigar por debajo de las necesidades del cultivo si el agricultor no ajusta su programación del riego acordada.
- Requiere un grado de manejo más alto el cual puede ser problema donde se hacen labores sin destreza.

1.7 Relación del riego con las propiedades hidrofísicas del suelo

El crecimiento y desarrollo de las plantas está necesariamente asociado a que se establezca un adecuado equilibrio entre los requerimientos que éstas poseen y las condiciones que su entorno edafoclimático puede ofrecerles. En tanto el rango de las propiedades del suelo y clima de un lugar determinado se aparte de las condiciones límites, un mayor número de especies se adapta o podrá ser adaptado para crecer y desarrollarse. Entre las principales condiciones que el suelo, como constituyente del edafoclima, puede "ofrecer" para el crecimiento y desarrollo de las plantas, se encuentra su capacidad para el almacenamiento de agua. Con la excepción de las plantas que están naturalmente adaptadas o son forzadas a vivir en un ambiente hidropónico, la mayoría de ellas deben obtener el agua, como elemento fundamental de

la vida, desde el suelo. La idea anterior, enfocada desde un punto de vista agrícola, hace necesario reconocer las relaciones que se establecen entre el agua y el suelo, donde y a través de qué mecanismos es almacenada, de qué factores depende el grado o nivel del almacenamiento, cómo es entregada a las plantas, cómo se mueve en el suelo y otros (Salgado, 2002).

El suelo es un sistema disperso, heterogéneo, trifásico y poroso en el cual el área interfacial por unidad de volumen puede ser muy grande. La naturaleza dispersa del suelo y su consecuente actividad interfacial, da origen a fenómenos tales como la absorción del agua y los elementos químicos, el intercambio iónico, la adhesión, la contracción-dilatación, la dispersión y floculación y la capilaridad (Pérez & Cid, 2008).

1.8 Velocidad de infiltración del agua en el suelo

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 y 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 (Morábito& Prieto, 2008).

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

1.8.1 Factores que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración

Según (Cisnero R., 2003), menciona que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

- Textura. Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
- Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
- Cantidad de materia orgánica. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- Profundidad del suelo a una capa endurecida “hardpan”, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
- Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.
- Cantidad de organismos vivos. A mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación.

1.8.2 Características de infiltración del 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 de la infiltración. Sí la infiltración pudiera predecirse con exactitud los sistemas de riego superficiales podrían ser diseñados y operados para el uso más eficiente del agua y la energía. (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, Dehogues, Tzonova, & Liliana, 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, 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.

Capítulo II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la finca del productor Ángel Bermúdez, perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS): “10 de Octubre”. Esta se ubica en la periferia de la ciudad de Sancti Spíritus, al Sur por la antigua carretera del Jibaro. En un suelo Gley Vértico sin Carbonato según la clasificación de suelo de Cuba (Hernández *et al.*, 1999).

Como herramienta de riego que propicia el pulso se empleó el Tanque de Descarga por Sifón (TDS) propuesto por Viera y Betancourt, (2014) este presenta un volumen del depósito de 0.23 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 m^2 . Las dimensiones de la campana o parte exterior del sifón, presenta un radio de 0.035 m , para un espacio entre el tubo de descarga y la campana de 0.0105 m tanto por la parte superior como por el lateral. Garantizándose de esta manera que la área entre el tubo de salida y la campana es de 0.203 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.

El dispositivo TDS permite trabajar con caudales de entrada de un rango desde 0.3 L s^{-1} hasta 1.4 L s^{-1} . Los tiempos de carga y descarga de mismo oscilas según la altura de la toma de agua del sifón. El tiempo de llegado o carga del dispositivo está en el rango de 0.55 a 1.56 minutos y el tiempo de descarga es de 0.46 a 2.26 minutos. El volumen de entrega en el dispositivo tienes variaciones de 114 a 307 litros.

Para evaluar los parámetros en la actividad de riego se utilizara el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con una variedad Buena Ventura de testa roja con un marco de plantación de $0.45 \times 0.08 \text{ m}$. 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° . Los objetivos a cumplir en el presente trabajo dan lugar a propósitos de trabajo del Proyecto 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 que se empleó fue el de parcelas en franja con cuatro tratamientos compuestos de 10 surcos cada uno utilizado anteriormente por Brown (2000) y Rodríguez y Alonso (2011) y Rodríguez (2014) una distancia de 60 m por cada surco, su empleo obedece a la simulación de las prácticas comunes que realizan los productores, para seguir así el requisito de tipicidad planteado por Fuentes *et al.*, (1999).

Se determinará en el campo cuatro tratamientos de acuerdo a los diferentes parámetros considerados para evaluar el efecto sobre los parámetros hídricos del suelo y la calidad del riego por surcos, los cuales se describen a continuación:

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 La 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:

El valor de la densidad del suelo (ρ) definida como la relación del peso del suelo seco entre su volumen en estado natural, incluyendo los poros, (Dueñas, 1981; Pacheco, 1995; Cabrera, 2002) se determinó por la ecuación [1]. Para obtener el valor medio del muestreo se promedian los valores obtenidos por profundidad por el procedimiento

matemático 2 sugerido por Luís y Martín (2003), Pérez y Cid, (2008) y Rodríguez, (2014).

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots [1]$$

Donde: ρ = densidad del suelo (g cm^{-3}); m = masa (g); v = volumen interior del cilindro (cm^3).

$$\rho_{media} = \frac{\sum \alpha(i)}{n} \dots\dots\dots [2]$$

Donde: ρ_{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.

Tabla 2.1: Escala de la evaluación de la densidad aparente

Densidad aparente g/cm^3	Clasificación
< 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 fueron tomada cada 0,10 m de profundidad y se empleó el dispositivo utilizado por (Santana, 2007) el cual permite el estudio de esta característica física sin afectarla significativamente. El volumen del cilindro empleado 71,5 cm^3 , el cual penetra mediante impactos que reciben por la parte superior. Para garantizar la estabilidad del avance del anillo en la posición vertical y evitar su deformación por los golpes directos del martillo se construyó un cilindro guía en el cual se aloja el 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 esta que se estabilice el peso a 105 0C en la estufa.

2.1.2 Capacidad de campo:

El concepto de capacidad de campo (C_c) según Pérez y Cid (2008), se define como “la máxima cantidad de agua que retiene el suelo en contra de las fuerzas de gravedad, en un tiempo comprendido entre 2 o 3 días después de haber sido saturado”. La C_c se determinó en condiciones de campo y se utilizó el método gravimétrico en la plazoleta de inundación. Las muestras 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 Max6200 g d=0,01g. Esta propiedad se determinó por la siguiente ecuación propuesta por Santana, (2007).

$$C_c = \frac{P_H - P_S}{P_S} \cdot 100 \dots\dots\dots [3]$$

Donde: C_c : % humedad del suelo (bss); P_H : Peso suelo húmedo; P_S : Peso suelo seco

2.2. Evaluación de los parámetros hidráulicos del suelo.

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 Colón para que las evaluaciones fueran equivalentes. Para ello se llevaron a cabo (durante el riego) las siguientes mediciones:

2.2.1 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 mediante la ecuación [4] de Mannign citada por García y Fontova (1998) y Morábito (2005). El caudal máximo no erosivo (Q_{\max}) por la expresión [5] propuesta por Hamard y Stringham (1978) citados por García y Fontova (1998) y Pérez *et al.*, (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.

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} .S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots [4]$$

Donde: **R:** Radio hidráulico; **V:** Velocidad del agua (m/s); **n:** Coeficiente de rugosidad de Manning (m); **S:** Pendiente del surco (m/m)

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C}{S^a} \dots\dots\dots [5]$$

Donde: **Qmax:** Gasto máximo no erosivo, en l/s; **S:** Pendiente del surco (%); **C y a:** Coeficientes experimentales que dependen del tipo de suelo

2.2.2 Aforo del agua

Para el aforo del agua en el surco se disen un vertedor triangular, teniendo en cuenta los principios propuestos por Israelsen y Hansen, (1965). Las dimensiones del vertedor fueron de 0,35 x 0,30 m 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 tuvo en cuenta los criterios de (León, 2002), (Pacheco, 2006), (Santana, 2007) y (Rodríguez, 2014) que sugiere, para disenar esta herramienta, primero conocer el caudal máximo y el mínimo que circular 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 cuando 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 [6] propuesta por (Israelsen, 1965) para determinar su magnitud.

$$Q = CH^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots [6]$$

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

2.2.3 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 [7], la cual es empleada anteriormente por (Rodríguez 2014) y según sus criterio se obtiene los valores de lámina de agua aplicada en milímetros.

$$L_a = \frac{Q_0 \cdot t_a}{1000 \cdot W \cdot L} \dots\dots\dots [7]$$

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

2.2.4 Medida del escurrimiento superficial:

Se empleó y evaluó una parcela de escurrimiento que consiste en un registro para coleccionar los volúmenes de suelo y agua escurrido construida al final del surco, dichas parcelas, colecta el agua y el sedimento de tres surcos que representa un área de 40,5 m². Esta parcela está formada por un plato (A) de colecta de agua y sedimento, un tubo de evacuación (B) de 76,2 mm de diámetro y una longitud de 0,30 m que conduce el agua del plato al registro, un registro de almacenamiento (C) que tiene una capacidad de 0,14 m³ volumen suficiente para coleccionar el agua de los tres surcos evaluados. Los hombros (D) del plato para evitar el desbordamiento del agua y el suelo. Está revestida con cemento para evitar las pérdidas por infiltración, con una bolsa de cemento de 46 Kg se puede revestir tres parcelas con estas medidas.

Para cada evento riego y en todos los tratamientos se determinó el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la intensidad de escurrimiento. Estas variables fueron determinada por los procedimientos recomendados por Betancourt *et al.*, (2004) y Carolina *et al.*, (2009) para medir lámina escurrida [8], Intensidad de escurrimiento [9] y producción de sedimento [10]. La influencia del suelo, la pendiente, la vegetación en cada tratamiento, fue uniformes en la parcela de escurrimiento.

$$Le = \frac{V_{eo}}{A} \dots\dots\dots [9]$$

Donde: Le : Lámina escurrida ($m^3 \text{ha}^{-1}$); V_{eo} : Volumen de agua escurrida (m^3); A : Área del lote de escurrimiento (ha).

$$Ie = \frac{V_{eo}}{t} = \dots\dots\dots [10]$$

Donde: Intensidad del escurrimiento (m^3h^{-1}); **Ve**o: Volumen de agua escurrido (m^3); **t**: Tiempo de riego (h)

$$A_s = Ve_o.P_s \dots\dots\dots [11]$$

Donde: **As**: Producción del sedimento ($Kg m^{-3}$); **Ps**: Peso del sedimento (Kg); **Ve**o: Volumen de agua escurrida (m^3)

2.2.5 Medida de la variación del perfil del surco.

La medición de la variación de la geometría del suelo se realizó mediante la metodología empleada por Santana, (2007) utilizada posteriormente por Viera y Alfonso, (2015) mediante la utilización del perfilómetro en las secciones trasversal de las siete estaciones de cada tratamiento. En cada evento de riego se realizaron las mediciones antes y después del riego para determinar las variaciones ocurridas en el perfil transversal del surco

Para el cálculo del área en cm^2 que varía el perfil del surco en cada riego se realiza la construcción de graficas con el programa Microsoft Excel 2010. Posteriormente se procedió mediante la ecuación [11] para integrales definidas, con la ecuación [12] se determina específicamente el área bajo la curva mediante el método de los trapecio.

$$\text{Área} = \int_a^b f(x)dx \dots\dots\dots [11]$$

La regla del trapecio para aproximar viene dada por:

$$A = \int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{n} \sum_{i=1}^n \frac{f(x_{i-1})+f(x_i)}{2} \dots\dots\dots [12]$$

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.

Capítulo III

3. 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 Densidad del suelo

Para determinar las propiedades hidrofísicas del perfil del suelo se determinaron parámetros como la densidad (d_a) que alcanzó valores como muestra la tabla 3.1. Las muestras obtenidas en los primeros diez centímetros se consideran dentro de lo normal a escala de evaluación de la densidad aparente propuesta por Martín y Durán, (2008). A partir de los veinte centímetros se considera que el suelo está en un estado compactado.

Tabla 3.1: Valores de densidad aparente del suelo.

Profundidad (cm)	Densidad del suelo (d_a) g.cm^{-3}
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 1.1 y 1.3 se pueden determinar la presencia de arcilla en este tipo de suelo. Esto puede estar dado por las características propias del suelo donde se realizó el presente trabajo.

3.2 Capacidad de campo

Durante los 50 cm de profundidad los valores de capacidad de campo (C_c) son adecuados para este tipo de suelo al compararse con lo que informa (Bagué, 2005), con

el aumento en las profundidades subyacentes, en condiciones de altas capacidades de retención de agua en el suelo, solo que el último valor tiende a disminuir un poco. Bajo este comportamiento el agua disponible y fácilmente utilizable por el cultivo se mantiene por un mayor período de tiempo en el suelo.

Tabla 3.2: 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 Velocidad de avance.

En el presente trabajo, en la práctica los volúmenes de agua utilizados fueron simulando a los valores que se emplean en la práctica cotidiana. En el momento de obtener los cálculos de diseño se observó que la velocidad máxima de (0,27 m seg⁻¹), parámetro calculado según la ecuación de Mannign con la presencia del área mojada, el perímetro mojado, el radio hidráulico y un coeficiente de rugosidad de 0,03 para surco sin vegetación. Si observamos la tabla 3.3 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, siendo este un aspecto negativo en el empleo del TDS debido a los grandes volúmenes de agua descargados en un corto tiempo.

Tabla 3.3: Velocidad de circulación (m.s⁻¹) del agua durante los eventos de riego

Tratamiento	Número de riegos				Med.
	1	2	3	4	
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	0,11b
CV					38,3%
Sig.					0,029

Según García y Fontova (1998) y Rodríguez (2014) para suelos de texturas arcillosas el rango permisible de velocidad máxima es de 0,25 ms⁻¹, parámetros recomendados

internacionalmente. La velocidad de circulación del agua por unidad de tiempo supera este indicador 1,08 veces.

3.4 Aforo del agua

El vertedor triangular es un modelo que tiene alta exactitud en sus mediciones y constituye un elemento que obstruye la circulación del agua en una conducción libre cuando es confinada por las paredes laterales de los estribos que lo limitan lateralmente, de hecho, esto implica una sección de control. (Pacheco, 2006).

Tabla 3.3: Caudal utilizado en los tratamiento durante los eventos de riego ($L.s^{-1}$)

Número de riegos					
Tratamiento	1	2	3	4	Med.
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

En la tabla 3.3 podemos apreciar como los caudales en los tratamientos A y B presentan una tendencia a aumentar, sin embargo en los tratamientos C y D la tendencia es a disminuir, en el último riego la relación del caudal del tratamiento A con respecto al tratamiento testigo es de 1.48 veces mayor. En el tratamiento D se observa que su caudal en el primer riego es 1.21 veces mayor que en el cuarto riego. En la figura 1 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 $0.75 L.s^{-1}$, solo el tratamiento D presenta valores inferiores a $Q_{m\acute{a}x}$.

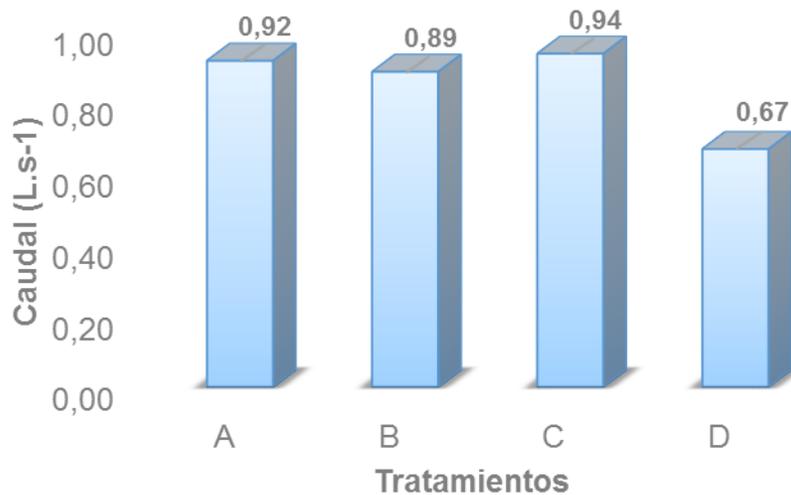


Figura #1: Caudales promedio por tratamientos.

El mayor caudal de entrada lo posee la variante C donde se utilizó el riego por surcos con intermitencias. Este fenómeno está dado porque el tratamiento C es el que mayores volúmenes de agua que entrega por unidad de tiempo en cada intermitencia, permite esto en consecuencia que los gasto en un breve espacio temporal alcancen valores alto.

3.5: Lámina Total Aplicada

La lamina total aplica es un parámetro de suma importancia porque nos determina si podemos cubrir la necesidades hídricas del cultivo en su sistema radicular activo. En el caso de la tabla 3.4 se observan las láminas aplicada por cada variante, según podemos ver los tratamientos A, B y C como promedio presentan una lámina 2.7 inferior a la lámina aplicada en el tratamiento D que presenta el riego continuo. Como se puede evidenciar en el caso de cultivos que cuenten con una capa activa del sistema radicular profunda la variante que se proponen del TDS son las adecuadas, sin embargo con un adecuado manejo del riego y con la reducción de los periodos de riego este dispositivo puede desarrollar una actividad eficaz, principalmente en cultivos de raíces fasciculadas o ramificada.

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 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.

Tabla3.4: Lámina Total Aplicada (L_a). (mm).

Número de riegos					
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

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 Betancourt, 2014), entonces podemos mantener la hipótesis de que el dispositivo TDS es una herramienta adecuada para el riego intermitente mediante prácticas comunes de los productores de la zona.

En el análisis de la relación entre la lámina total aplicada y el tiempo de avance (figura 2) se demostró que el modelo que más se ajustó es el lineal con tendencia positiva, con un coeficiente de correlación de 0,99 para un nivel de relación estadístico significativo. La tendencia creciente indica que con un coeficiente de determinación 0,998 la variabilidad es alta, esto significa que el 99% de la variación de la lámina total aplicada varía en 1.3 mm por cada unidad del tiempo de avance, lo que indica que la ecuación funcional resultante se puede utilizar para estimar el valor medio de la lámina total aplicada en función del tiempo que se dispone para el riego.

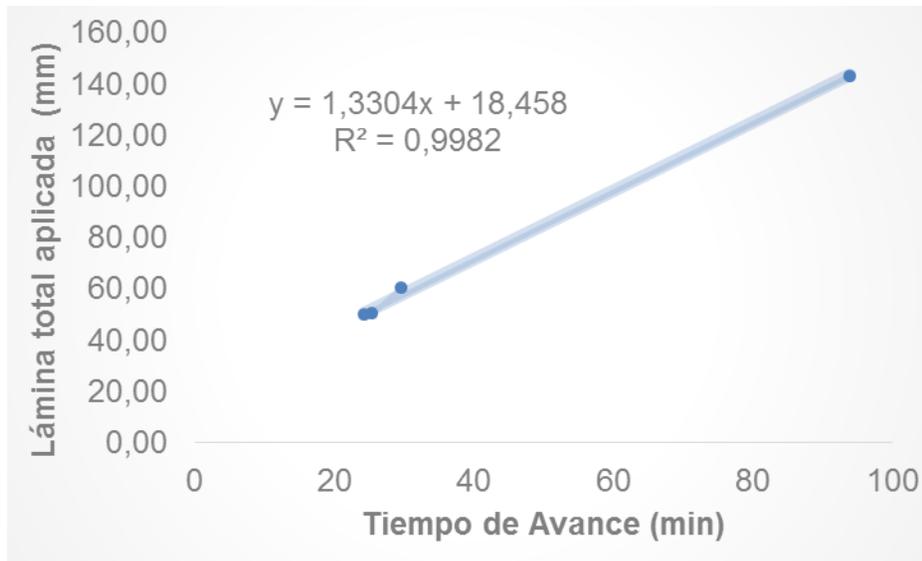


Figura # 2: Relación entre la lámina total aplicada y el Tiempo de avance

3.6 Medición del escurrimiento superficial

3.6.1 Lámina escurrida

La parcela de escurrimiento como herramienta diseñada por (Rodríguez, Santana, y Delgado, 2011) permitió determinar las pérdidas de agua por escorrentía y su intensidad. Como se muestra en la tabla 3.5 el mayor volumen de agua escurrida promedio lo alcanzó el tratamiento D con $21.70 \text{ (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}$ que supera en 1.24 veces al tratamiento C, en 1.45 veces al tratamiento B y en 1.57 veces al tratamiento A siendo este último el de menor escurrimiento. Es importante destacar que el nivel de pérdidas en la lámina de agua en los riegos por surcos con caudal intermitente son menores que la ocurrida en el riego continuo. Esto está dado por los caudales de diseño del TDS, nótese que a medida que aumenta el caudal de diseño influye con una tendencia positiva sobre la lámina escurrida.

Tabla 3.5 Lámina escurrida para cuatro tratamientos ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

Tratamiento	Número de riegos				Med.
	1	2	3	4	
A	18,2	13,5	12,2	11,4	13.8
B	20,0	11,0	14,6	14,3	14.9
C	28,2	5,4	18,6	17,5	17.4
D	35,0	13,6	20,0	18,2	21.7
KW					3,29
P-valor					0.348

En la figura 3 se ilustra la correlación entre la lámina escurrida y los caudales de diseño en cada tratamiento. Se evidencia que el modelo que más se ajusta es el logarítmico con tendencia negativa. Existe un coeficiente de determinación de 0,73, por lo que se determina que para un porcentaje de 0.73, existe una variación logarítmica negativa de 18,9 en el eje de la Y por cada unidad del eje de la f(x).

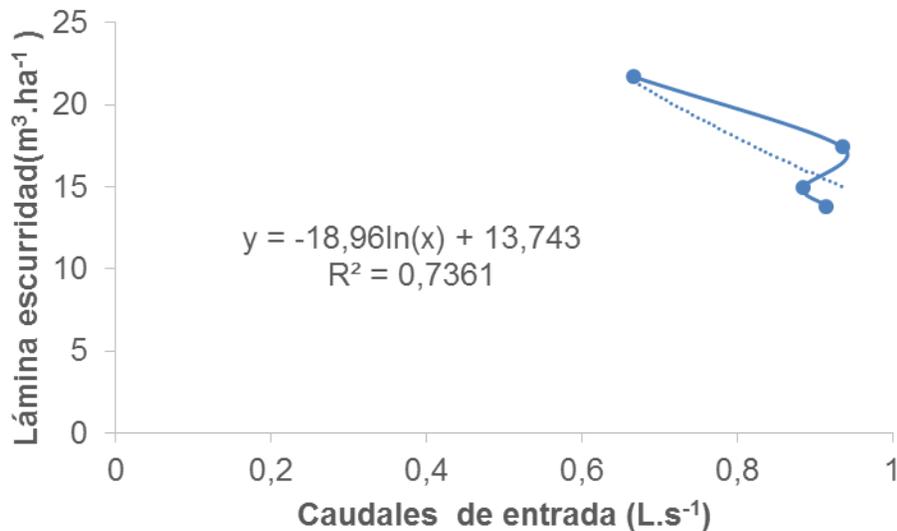


Figura # 3: Relación entre la lámina escurrida y los caudales de diseño.

3.6.2 Intensidad del escurrimiento

La intensidad del escurrimiento está en correspondencia con las pérdidas de agua por escorrentía, como se observa en la tabla 3.6, el tratamiento C representó la mayor intensidad debido a que los volúmenes de agua colectada en el tiempo son superiores a los demás tratamientos. Este tratamiento superó 1.31 veces al tratamiento A, en este indicador el tratamiento D se comporta de una forma positiva, esto también está dado

por el caudal de entrada estable, no siendo así con el TDS que realiza grandes descargas en un periodo de tiempo. Véase que en el primer riego la intensidad del escurrimiento aumenta proporcionalmente con el aumento de los caudales de diseño del TDS. En la tabla se observa por riego cómo se comporta la intensidad de escurrimiento, además de existir una marcada tendencia donde los tratamientos con caudales intermitentes disminuyen la intensidad a medida en que aumenta el número de riego.

Tabla 3.6: Escurrimiento superficial en los cuatro riegos para cada tratamiento. (m^3h^{-1});

Número de riegos					
Tratamiento	1	2	3	4	Med.
A	0,13	0,11	0,33	0,22	0.19
B	0,32	0,26	0,19	0,20	0.24
C	0,43	0,10	0,28	0,19	0.25
D	0,27	0,12	0,04	0,06	0.12
KW					3.13
P-valor					0.371

3.6.3 Producción de sedimento

En la tabla 3.7 se puede apreciar que el tratamiento D fue el de mayores pérdidas de suelo por escorrentía, superior en 1.68 veces al A que fue el de menor caudal de entrada, pero con respecto al B que es el de menor producción el D lo supera 2.64 veces. No existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos bajo las mismas condiciones y tamaño de muestra, si tenemos en cuenta que el p-valor es superior a 0,05 para un 95% de confianza. Las pérdidas en el tratamiento C aunque poseen niveles mayores que los alcanzados por el B también están por debajo de la variante D lo que demuestra una vez más la superioridad del riego por surcos con caudal intermitente sobre el riego continuo.

Tabla 3.7: Producción de sedimentos por tratamiento para cada riego. ($Kg.m^{-3-1}$)

Número de riegos					
Tratamiento	1	2	3	4	Med.
A	0,028	0,015	0,013	0,123	0,044
B	0,045	0,025	0,023	0,021	0,028
C	0,066	0,010	0,042	0,039	0,039
D	0,165	0,028	0,057	0,047	0,074
KW					3,49
P-valor					0,321

La figura # 4 se muestra el análisis de estimación curvilínea (regresión) entre las variables producción de sedimento (dependiente) y lámina escurrida (independiente). El modelo que más se ajusta es el polinomio, se ilustra la relación positiva muy fuerte con un coeficiente de determinación de 0,92 %. La tendencia es hacia el incremento de la variabilidad en la producción de sedimento en proporción al aumento de la lámina escurrida, significa que por cada unidad que varía la variable independiente se incrementa la dependiente en 0,0013 kg/m³, lo que indica una correlación adecuada entre el modelo matemático y la evaluación de campo.

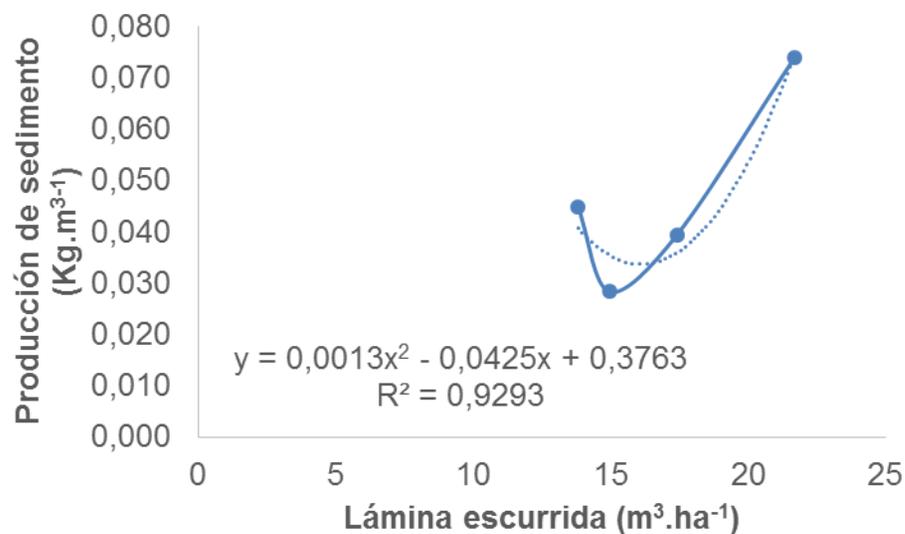


Figura # 4: Relación de la producción de sedimento con respecto a la lámina aplicada.

3.7 Medición de la variación del perfil del surco.

Durante la actividad del riego existen una serie de eventos que cuando no se manejan de forma adecuada dan lugar a procesos de erosión hídrica o cambios en la estructura del surco. Así es el caso del siguiente parámetro que para su evaluación se tomó como referencia siete estaciones en el surco que para el análisis se dividirá en tres tercios que estos se dividen de la primera estación a la tercera, el primer tercio. De la tercera estación a la quinta, el segundo tercio y de la quinta a la séptima, el tercer tercio.

Como se puede observar en la figura 5 perteneciente al primer riego, el tratamiento B y D comienzan el primer tercio con la disminución de la lámina del suelo y luego en los otros dos tercios presentan acumulaciones significativas. Además el tratamiento A en

todo su recorrido se mantiene con una disminución excepto en el segundo tercio que aumenta discretamente.

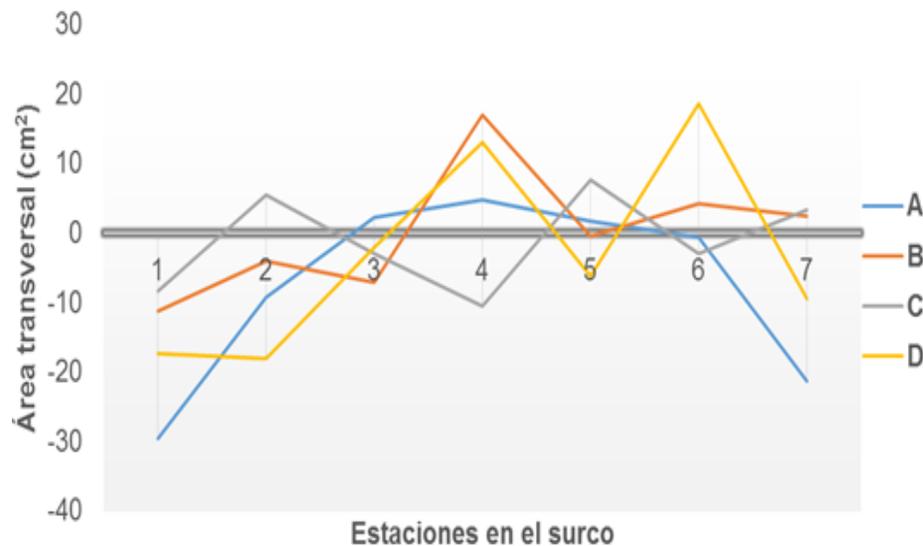


Figura # 5: Dinámica del área de la sección transversal para cada tratamiento en el primer riego.

Notese que el tratamiento A es el de menor caudal de entrada sin embargo supero al tratamiento C en 3,52 veces el área perdida a inicios del primer tercio. Según criterios de (Filgueira *et al.*, 2006) y (Carolina *et al.*, 2009) demostraron, que en sistemas de cultivo donde predomine el monocultivo y estén bajo un sistema de riego por surcos, se pueden incrementar las pérdidas de suelo por escorrentía hasta seis veces. Según criterios de estos autores estas pérdidas son más evidentes en suelos erosionados con tendencia a disminuir la materia orgánica en los primeros centímetros de suelo y el aumento de la tasa de infiltración.

En el segundo riego el tratamiento B como se muestra en la figura 6 se destaca en el primer tercio con la elevada ganancia que se muestra, seguido del segundo tercio que se comporta a la inversa que disminuye casi lo mismo que aumentó. Los demás tratamientos se mantienen con pérdidas en todo el recorrido excepto el A que el último tercio que se acumula un poco de sedimento. Con respecto al tratamiento B se determinó que este comportamiento es debido a la movilización del suelo en la cresta del surco hacia el fondo del mismo. Según (Viera y Alfonso, 2015) En el segundo evento de riego la tendencia a una pérdida del perfil del surco continúa aunque con otras particularidades con respecto al riego inicial.

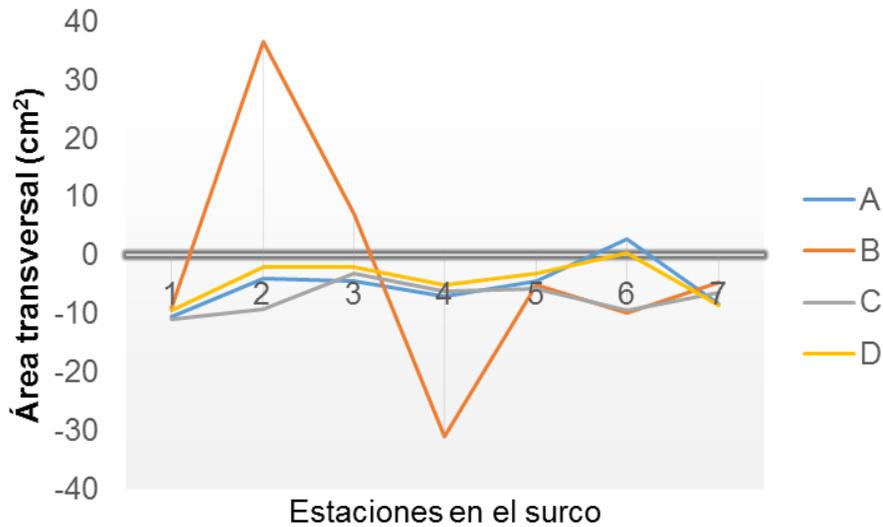


Figura # 6: Dinámica del área de la sección transversal para cada tratamiento en el segundo riego.

En un tercer momento de riego se observa en la figura 7 como el tratamiento A y B obtiene una ganancia en el segundo y tercer tercio, mientras que el tratamiento D en este periodo solo presentó pérdidas, es necesario señalar que el área entre estos es de 53.4 cm². El tratamiento testigo presenta pérdidas en las siete estaciones a lo largo del surco, esto está en estrecha relación con los resultados obtenidos en la producción de sedimento donde el tratamiento D es el de mayores pérdidas.

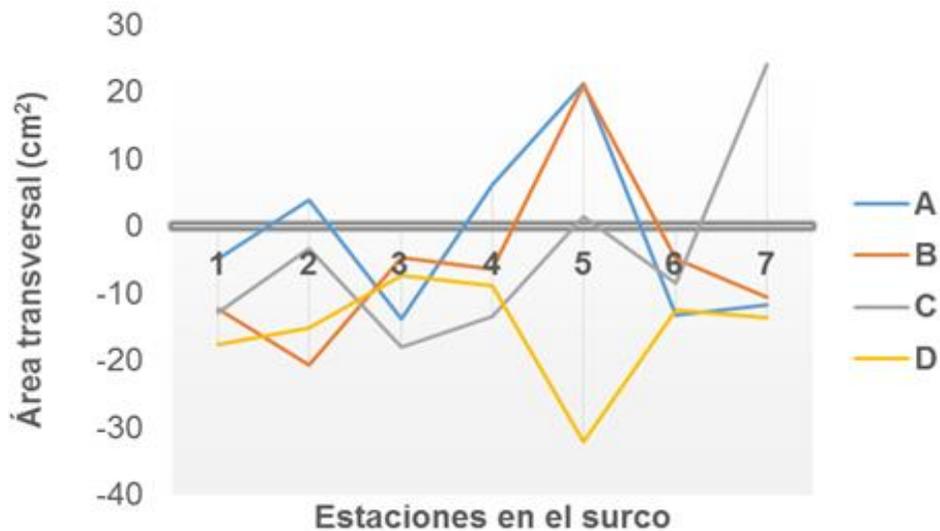


Figura # 7: Dinámica del área de la sección transversal para cada tratamiento en el tercer riego.

El tratamiento C en la última parte de su tercio número 3 que acumula sedimento además de que en el trayecto solo había disminuido. Según señalamientos de (Tornés *et al*; 2016) En el proceso de riego, se puede comprobar que la sección del surco sufre importantes modificaciones a causa de la influencia del caudal de entrada, la pendiente, la rugosidad y otras variables de diseño y manejo del riego; por lo que la sección triangular original; usualmente predominante en el cultivo, pasó a ser de tipo parabólico. En el cuarto evento de riego la tendencia a una pérdida del perfil del surco continúa aunque con otras particularidades con respecto a los riegos anteriores como se observa en la figura 7. En este evento no existe acumulación de sedimento en ningunos de los tercios de los tratamientos, todos se comportan de forma negativa con la presencia de pérdidas de suelo a lo largo del surco. Destacándose el tratamiento A con mayores pérdidas. Véase que este tratamiento es el de menores caudales de entrada con la característica de mantener las intermitencias más cortas a una mayor frecuencia según el diseño del TDS.

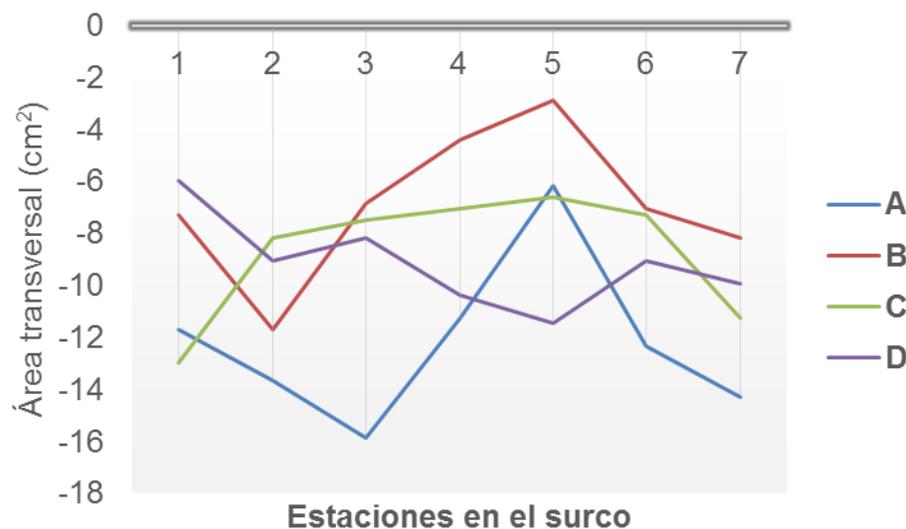


Figura # 8: Dinámica del área de la sección transversal para cada tratamiento en el cuarto riego.

Según criterios de Viera y Alfonso, (2015) plantean que si los caudales utilizados en la investigación no se ajustan al caudal de diseño para este tipo de suelo y con la pendiente determinada, siendo la mayoría caudales que están por encima del caudal máximo no erosivo. Estos son los responsables directos de las fluctuaciones tan

significativas en la geometría a lo largo del surco que se aprecia en las figuras anteriores. Con el manejo del riego intermitente a menores tiempos de entrega de agua en el surco y menores caudales pudiéramos alcanzar resultados como los descritos por (Santana, 2007) el cual obtiene resultados en sus investigaciones donde en la longitud del surco no se evidencia excavaciones ni cúmulos de suelo, además el caudal en circulación no contiene volúmenes de sólidos suspendidos de consideración, siendo el resultado de la elección correcta del caudal para las condiciones dadas.

En la tabla 3.8 Se observa la variación general que existe para cada estación desde el primer riego hasta el último en el perfil del suelo. Podemos decir que a lo largo de su recorrido los tratamiento A y D presentan pérdidas en el perfil solo en un momento de cada uno obtienen acumulación pero no con valores muy elevado, en el caso del A presenta en su primera estación pérdidas 2.84 veces mayores que el tratamiento testigo. El tratamiento A en varias estaciones se destaca por sus valores como es en la primera que es 5.8 veces mayor que el B, en esta estación el tratamiento C es el único que presenta ganancias para la primera estación. El tratamiento B se destaca por sus valores bajos en sus pérdidas sin embargo en la estación 4 supero a todos. Al tratamiento A en 3.4, al C en 4.5 y al D en 10.8. Luego de analizar estos parámetros podemos decir que el tratamiento A influye significativamente en el perfil del suelo lo que se puede puntualizar que no es recomendable. Mientras que los otros tratamientos presentan sus pérdidas pero el B es uno de los que más estabilidad presenta en sus parámetros siendo el de caudal medio para el TDS.

	Número de estaciones en el surco.						
Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7
A	-67,54	4,62	-26,18	-19,36	-45,76	-56,54	-42,68
B	-11,66	-2,64	-33	-66,44	-2,64	13,64	14,08
C	23,98	-47,3	13,64	15,62	-7,48	-22,66	39,16
D	-23,76	-9,02	-2,2	6,16	-27,28	-9,02	-54,78

CONCLUSIONES

- El tratamiento D del riego continuo utiliza más lámina total aplicada que los tratamientos del TDS con riego superficial con caudal intermitente, este logra regar mayor área con el mismo volumen de agua y con una mayor homogeneidad en el patrón de humedecimiento.
- La pérdida de agua por escurrimiento al final del surco son mayores con el uso del TDS para el riego con caudal intermitente y las pérdidas de suelo por escorrentía son mayores en un 62% en el tratamiento D, parámetros que determinan la superioridad del TDS con respecto al riego con flujo continuo como método tradicional.
- En la dinámica del perfil del surco los tratamientos perteneciente al diseño del TDS acumularon mayores cantidades de sedimento en el centro del surco, las mayores pérdidas de sedimento se producen en el tratamiento testigo al final del surco, que coinciden proporcionalmente con la mayor producción de sedimento.

RECOMENDACIONES

- Debe realizarse posteriores trabajo para determinar mejores caudales de entrega del agua que disminuyan las pérdidas del recurso agua y suelo.
- Desarrollar un trabajo de extensionismo en la zona para aumentar los conocimientos técnicos en cuanto a las metodologías de riegos apropiadas a la zona.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alfonso, E. (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). Trabajo de Diploma. Sancti Spíritus, Sancti Spíritus, Cuba.
2. Betancourt, e. a. (julio de 2004). Pérdidas de Suelo y Potencial Hidrológico en parcelas con Cobertura Vegetativa de Especies Forrajeras: manejo de agua y suelo. 8. 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: manejo de agua y suelo. TIERRA Latinoamericana, julio 2004, vol. 18, nº 003, pp. 263, Tierra Latinoamericana.
3. Bishop, A. A., Walker, W. R., Allen, N. L., & Poole, G. J. (1981). "Furrow advance rate undersurge flow systems."
4. Brown, O. (2000). Mejoramiento del diseño y el manejo del riego por surcos mediante un modelo matemático simplificado. Tesis doctoral. Ciego de Ávila: CICT. UNICA.
5. Camacho, E., Pérez, C., & 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.
6. Camejo, E. (2006). Relación Agua-Suelo-Planta-Clima. Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba.
7. Carolina, e. a. (2009). Propiedades hidrológicas edáficas bajo diferentes secuencias de cultivos en siembra directa. Panamá.
8. 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 Investigación San Luís Potosí , México.
9. Corral, M. A. Comparación de la eficiencia en la aplicación del agua con el riego intermitente en surcos. *Trabajo de Diploma*. Instituto Tecnológico de Sonora: El instituto, 2014.
10. Deckers, J. O. (1998). Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 84. IISC, ISRIC, FAO. 90 p.
11. Delgado, B. (2011). Mejoramiento del riego por surcos en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) con el uso de un Tanque Descarga por el Fondo. Sancti Spíritus, Cuba.
12. Fuentes, F., Abreu, E., Fernández, E., & Castellanos, M. (1999). Experimentación agrícola. 2da Ed. La Habana, Cuba.

13. García, E., & Fontova, M. (1998). Ingeniería de Riego. 1ra ed. Centro de Investigaciones Hidráulicas Instituto Superior Politécnico "José A. Echevarría". La Habana, Cuba.
14. García, J., Dehoguez, E., & Tzenova, L. (1996). El riego. 1ra ed. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
15. García, M. (20 de 5 de 2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay. Montevideo, Uruguay.
16. Gonzáles, P. (2008). Introducción al riego y drenaje. La Habana, Cuba.
17. Henggeler, C. J., & Wayne, K. C. (1985). 14. Henggeler, "Surge flow irrigation." (Boletín) Texas Agricultural Extension Service. United States. Texas, EEUU.
18. 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. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana, Cuba.
19. Hernández, A., Pérez, J. M., Boch, D., Rivero, L., Camacho, E., Ruiz, J., y otros. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. 1ra ed. La Habana, Cuba.
20. Ibáñez, S.; Moreno, H. y Blanquer, J. M. Características del infitrometro de doble anillos (anillos de munz). *Producción Vegetal*, 17 junio 2012.
21. Kirilova, I. y. (1986). Hidromelioraciones de Riego. La Habana, Cuba.
22. León, A. (2002). Hidrometría de las conducciones libres y forzadas. 1ra ed. La Habana, Cuba.
23. 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.
24. Mujica, A. (1997). "Curso de Maestría en Ingeniería de Riego y Drenaje". Centro de estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila. Ciego de Ávila., Cuba.
25. Pacheco, e. a. (2006). Riego y Drenaje. La Habana, Cuba.
26. Pérez. (1995). "Metodología para la evaluación del riego por surcos. Centro Nacional de Capacitación Azucarera. Ciudad de la Habana, Ciudad de la Habana, Cuba.
27. Pérez, R. y. (2008). El Riego Superficial. La Habana, Cuba.

28. Playán, E., Lecina, S., Isidoro, D., Dechmi, F., & Causapé, J. y. (2005). Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District V of Bardenas (Spain). . Bardenas, España.
29. Reyén, J., & Zerihun, D. (2010). Assessment of the performance of border and furrow irrigation systems and the relationship between performance indicators and the relationship between performance and indicators. Estados Unidos.
30. Ríos, T. (2005). La producción de cebolla en Banao y la erosión de los suelos. Trabajo en preparación para tesis de maestría. CUSS-UNICA. Ciego de Ávila, Cuba.
31. Rodríguez 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.
32. Rodríguez, M. (2013). Mejoramiento del riego por surcos con caudal intermitente, asociado al cultivo de la cebolla (*Allium Cepa* L.) en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Tesis doctoral. Sancti Spíritus, Sancti Spíritus.
33. 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.
34. Rodríguez, M., Santana, M., & Delgado, D. (2011). Mejoramiento del riego por surco en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) con el uso de un Tanque de Descarga de Fondo.
35. Rodríguez, M.; SANTANA, M.; ALONSO, F. y DELGADO, D. B. Mejoramiento del riego por surco en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L. YAYABOCIENCIA. Sancti Spíritus, Sancti Spíritus, Cuba.
36. Rodríguez, M. Infiltración. *Tesis de Maestría*. Universidad José Martí: UNISSS, 2015.
37. Rodríguez, M.; Santana, M.; Brown, O. y Alonso, F. Riego por surco con caudal intermitente asociado al cultivo de la cebolla y su eficiencia en las pérdidas de suelo y agua por escorrentías. *Ciencia Técnicas Agropecuarias*, noviembre 2013, nº 4.
38. Rodríguez, M.; Santana, M.; Brown, O. y Alonso, F. Mejoramiento de riego por surcos, continuo e intermitente, en suelos ferralíticos rojo lixiviado en el sistema productivo Banao. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, febrero 2014, nº 1.
39. Romay, C. (2004). Riego por pulsos Optimización de la eficiencia de riego.
40. Roqué, C. (10 de Marzo de 2009). Caudal discontinuo, la última vanguardia en la técnica del riego. Argentina.

41. Roqué, G. (1996). "Riego por caudal intermitente. Surge una eficiente variación de los sistemas por gravedad.". Agricultura de Las Américas.
42. Rosenfeld, B. y. (24-28 de Octubre de 2005). Avances en productividad sostenible mediante riego pulsante: El Sistema de Riego ecológico Autónomo (SREA). En: Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje del Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.
43. Santana, M. (2006). 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. Tesis doctoral. Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba.
44. 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 Ávila, Cuba.
45. Schilardi, C, Morábito, A. y. (2009). Modelación matemática del riego por superficie como una alternativa superadora para el manejo del riego en finca. Instituto Nacional del Agua. Mendoza, Argentina.
46. Schilardi, C., & Morábito, J. (2009). Parámetros físicos del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del Río Tunuyán superior Argentina. Mendoza, Argentina. Mendoza, Argentina.
47. Tornés, N. O; Brown. O. M; Gómez, Y. M; Guerrero, A. A: (2016). Eficiencia de aplicación máxima del agua y longitud del surco en función de los caudales. *Ciencia Técnicas Agropecuarias*, vol. 25, núm. 1, enero-marzo, 2016, pp. 23-27
48. Viera, R. Zabalo, M. (2015). Comportamiento de los parámetros infiltración y uniformidad de distribución del riego con intermitencia en suelos Pardos Sialítico Carbonatado. Trabajo de Diploma. Sancti Spíritus, Sancti Spíritus, Cuba.
49. Viera M, R. A. (2013). Mejoramiento de la tecnología del riego por surcos, asociado al cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, l.) en suelo ferralítico rojo lixiviado de la comunidad de Banao. *Tesis presentada en opción al título académico de máster en ciencias hidráulicas y ambientales*. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Cheverría" Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", Sancti Spiritus.