



**Universidad de Sancti Spíritus**  
**“José Martí Pérez”**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**  
**Departamento de Agronomía**

**Informe del diseño de investigación.**

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).

**Autor: Elcides Alfonso Ramírez.**

**Tutor: MSc. Rubén A. Viera Marín.**

**Sancti Spíritus 2015.**

**“ Año 57 de la Revolución.”**

## **Pensamiento**

*Ser bueno es el único modo de ser dichoso, ser culto es el único modo de ser libre; pero, en lo común de la naturaleza humana, se necesita ser próspero para ser bueno y el único camino abierto a la prosperidad constante y fácil es el conocer, cultivar y aprovechar los elementos inagotables o infalibles de la naturaleza.*

*José Martí*

## *Agradecimientos*

*A toda mi familia, por su contribución, entendimiento y apoyo. Especialmente a mi madre Aida por enseñarme el camino y a mi esposa Ibettys por transitarlo a mi lado*

*Solo el camino al éxito es seguro, cuando se cuenta con el apoyo desinteresado y exigente de compañeros como el: 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 contribuido de manera decisiva a la preparación de este trabajo y a mi formación profesional de los cuales me considero deudor, no solo por su amable estímulo o por la merecida crítica en el momento oportuno, sino también por la visión y el conocimiento que fueron capaces de brindar, al matrimonio de Anselmo y Aida por su apoyo incondicional hacia este trabajo y a la MSc Ana Gertrudis Trocones Boggiano por adoptarme ,como un hijo más, durante mis años de estudio*

## *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, mi fuente de inspiración por sentirse orgulloso de mi*

*A mi esposa, por brindarme todo su amor y cariño sin el cual no hubiera sido posible la realización de esta carrera de Ingeniera Agrónoma.*

*A mi familia en general por formar parte de mi vida y estar presentes en mí en todo momento.*

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

## Síntesis

El presente trabajo se realizó en la zona periurbana el “6” situado al norte de la ciudad cabecera del municipio Jatibonico, sobre un suelo Pardo Sialítico Carbonatado. Los estudios realizados en este campo plantean el tiempo de entrega de agua al surco o tiempo “*on*” en tres tratamientos que están entre el rango de los 10 hasta los 20 minutos. Se busca como objetivo para el riego intermitente, evaluar los tiempos de entrega del agua en el surco, determinando la velocidad de avance, lámina total aplicada, la eficiencia de aplicación y el escurrimiento superficial en cultivos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). Como parte de los estudios del diseño del riego se obtuvo un gasto máximo no erosivo de 0,46 L/s, en todos los casos el aforo obtenido estuvo por encima de este valor. La geometría del surco presenta pérdidas significativas de hasta 40 mm de la lámina en el primer y último tercio, la velocidad de avance no sobre paso los 40 m/s, estando por debajo de la velocidad de diseño para este caso. La mejor lamina total aplicada ( $Y_t$ ) para todo los tratamientos la alcanzas el tratamiento (C) siendo 3.4 veces menor que el testigo. En todas las variantes la eficiencia de aplicación siempre estuvieron por encima del 90%, destacándose el A. en cuanto a la lámina escurrida, el A es el de mayor valor y el D en cuanto a intensidad de escurrimiento. El tratamiento testigo presenta la mayor producción de sedimento con 3,8 m<sup>3</sup>/ha, valores estos que ratifican la superioridad de los riego con caudal continuo sobre los método tradicional.

## Synthesis

The present work carried out in the [periurbana] area the “6” fixed income northwards of the head city of the Jatibonico municipality, on a brown earth Sialítico carbonated. The carried out studies in this field outline the time of delivery of water to the furrow or “on” time in three treatments that it are between the rank of the 10 until the 20 minutes. It hustles as objective for the intermittent irrigation, it evaluates the times of delivery of the water in the furrow, by deciding the speed of advance, total applied lamine, the efficiency of application and the superficial draining in cultivations of common bean (*Phaseolus vulgaris* L). As part of the studies of the design of the irrigation obtained a maximum expense not erosive of 0.46 L/s, in all cases the obtained appraisal was for on this value. The geometry of the furrow presents significant losses of until 40 mm of the lamine in the first and last third, the speed of advance not on pass the 40 m/s, being for under the speed of design for this case. The best laminates applied total (Yt) for all the treatments reach it the treatment (c) being smaller 3.4 times that the witness. In all variants the efficiency of application always were for on 90%, standing out the A. as for the abashed lamine, the to be those of major value and the d as for intensity of draining. The witness treatment presents the major production of sediment with 3.8 m<sup>3</sup>/ha, values these that ratify the superiority of the irrigation with of great volume endless on the traditional method.

<b>ÍNDICE</b>	
<b>CONTENIDO</b>	<b>PAG</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>13</b>
1.1.El Riego a nivel mundial	13
1.2.Generalidades del riego	14
1.3.Definición y objetivos del riego	15
1.4.Riego en Cuba	16
1.5.Riego superficial	17
1.5.1. Ventajas del sistema de riego superficial	19
1.5.2. Desventajas del sistema de riego superficial	19
1.6.Riego por surcos	19
1.6.1. Factores que intervienen en el diseño del riego por surcos	20
1.6.2. Fases del riego por surcos	20
1.7.Riego intermitente	22
1.7.1. Manejo del riego intermitente	23
1.7.2. Ventajas y Desventajas del riego intermitente	24
1.8.La eficiencia del riego	25
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>28</b>
2.1.Propiedades hidrofísicas del suelo	29
2.1.1. Densidad del suelo	29
2.1.2. Capacidad de campo	30
2.2.Evaluación de los parámetros del riego	31
2.2.1. Aforo del agua	31
2.2.2. Geometría del surco de riego	32
2.2.3. Velocidad de avance y Caudal máximo no erosivo	32
2.2.4. Lámina total aplicada	32
2.2.5. Eficiencia de aplicación	33
2.2.6. Medición del escurrimiento superficial	33
2.3.Procesamiento estadístico	34
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>35</b>
3.1.Propiedades hidrofísicas del suelo	35
3.1.1. Densidad del suelo	35
3.1.2. Capacidad de campo	35
3.2.Aforo del agua para riego y Caudal máximo no erosivo	37
3.2.1. Velocidad de avance	42
3.2.2. Lámina Total Aplicada	44
3.2.3. Eficiencia de aplicación	45
3.3.Geometría del surco de riego	38
3.4.Escurrimiento superficial y producción de sedimento	47
3.4.1. Volumen de agua escurrida	47
3.4.2. Lámina escurrida	47
3.4.3. Intensidad del escurrimiento	49
3.4.4. Producción de sedimento	50

<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>5. RECOMENDACIONES</b>	<b>53</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>OPINIÓN DEL TUTOR</b>	



## Introducción

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 por ciento de la extracción total del agua del planeta es usada en agricultura, con un porcentaje cercano al 85 por ciento cuando se consideran solamente los países en desarrollo. La industria consume el 20 por ciento y los municipios 10 por ciento 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. Esto ha llevado a que la actividad del riego esté siendo cada vez más criticada por su uso ineficiente y hoy se encuentre en el centro del debate sobre cómo conservar los ambientes del mundo. Como 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”, (Romy, 2004). El director de la 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”. De esta manera, el tema del riego cobra importancia en las discusiones y decisiones a nivel de política.

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos, cuando se establece en un cultivo no solo se persigue la supervivencia de este, si no que se pretende que propicie rendimientos elevados.

El riego por gravedad utilizando 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).

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, y iii. es muy difícil de instrumentar y por ello es necesario tener mano de obra muy calificada. (García M. , 2011)

En la República de Cuba el riego por gravedad ocupa alrededor del 45% del área beneficiada. En el país se utilizan otros métodos de riego como la aspersion y la microirrigación, pero las condiciones económicas actuales y el costo de los energéticos no permiten sustituir completamente el riego superficial por estos métodos. Esta situación no es exclusiva sólo de Cuba 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 riego necesitará solucionar los diversos problemas que afectan el rendimiento del agua. De aquí la importancia de incrementar la eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución del riego por surcos. (Santana, 2007)

La creciente demanda de recursos hidráulicos ha obligado a enfatizar la importancia de lograr un mejor control del agua a partir del manejo eficiente del riego. Sobre este tema la Comisión Internacional de Riego y Drenaje hizo un llamado a la adopción de una agenda para el ahorro de agua mediante la utilización de sistemas de riego técnicamente bien concebidos. El ahorro de

agua, energía y la posibilidad potencial de incrementar los rendimientos hacen del riego superficial una tecnología altamente competitiva en las actuales condiciones de Cuba (Brown, 2000)

### **Situación problemática**

En el mundo los productores utilizan el riego superficial como métodos de riego el cual es considerado por muchos expertos, como un evento agresivo para suelos con pendiente significativa. El método de riego superficial con sus técnicas es el más extendido en el mundo por su bajo costo de inversión, fácil operatividad y bajo costo de energía. El desarrollo de tecnologías avanzadas como el riego intermitente a finales de la década de los años 70 en los Estados Unidos de América y su generalización en el mundo con resultados satisfactorios, ha permitido demostrar las posibilidades técnico económicas del riego superficial, teniéndose como elementos básicos el diseño y manejo adecuado de los sistemas.

El **problema científico** que motiva el desarrollo de este trabajo parte del hecho de que a pesar de los avances significativos que se han obtenido en el riego superficial en la provincia se desconoce en qué medida el tiempo de entrega de agua en el riego por surcos con caudal intermitente influye sobre los efectos de la erosión hídrica en suelos Pardo Sialítico carbonatado.

### **Hipótesis**

Si se determinan los parámetros hidráulicos del suelo basados en diferentes tiempos de entregas en el riego por surcos con caudal intermitente. Entonces podemos identificar el diseño de riego más adecuado que disminuya los volúmenes de sedimento arrastrado, la dinámica de variación del perfil del surco y el uso del recurso agua.

## **Objetivo General**

Evaluar la influencia del tiempo “on” en el riego por surcos con caudal intermitente en un suelo Pardo Sialítico Carbonatado en función de la mejora del riego superficial en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

## **Objetivos específicos**

1. Caracterizar los parámetros hidrofísicos presentes en el perfil del suelo que contribuyen a la eficiencia del riego superficial.
2. Determinar la dinámica del perfil del surco, como influencia sobre los volúmenes de sedimento erosionado.

La **utilidad práctica** de la presente investigación aportara valores importantes de la dinámica de transformación del perfil del suelo bajo condiciones de riego por pulso en el cultivo del frijol. Contribuye a la caracterización de la influencia del riego sobre la erosión del suelo y los valores hidrodinámicos del mismo.

La investigación en cuestión aporta nuevos conocimientos en el campo del riego por surco con tiempos variables. No existen antecedentes en el territorio ni en la nación de estudios de influencia en la dinámica y erosión en el perfil del suelo provocado por el uso de riego por pulso en el cultivo del frijol para surcos de más de 50 metros de longitud. La investigación a demás realiza grandes aportes en cuanto a los datos de infiltración y tiempo del movimiento del agua en el suelo, lo que constituye su **novedad científica**.

# 1 REVISION BIBLIOGRAFICA

## 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) citado por (Rodríguez, 2013) (Rodríguez y Santana, 2003):

1. Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
2. Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
3. Refrigerar el suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo del vegetal.
4. Disolver sales contenidas en el suelo.
5. Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
6. Dar tempero a la tierra.

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 ido evolucionando 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, minimizando efectos adversos como la erosión, el drenaje deficiente y la salinización de los suelos (Rodríguez y Santana, 2003).

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).

## **1.2 Generalidades del riego.**

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 (Roqué C. , 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 (Cisneros, 2003)

### **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, bajando 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 agua al surco de forma intermitente aprovechando 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 M. , 2011)

#### **1.4 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.

(Morábito J, 2005) plantea que el riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministra 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. 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 Cuba 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 hidrotécnicas 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).

### 1.5 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, superando la zona radicular, drenando en profundidad.

En el pie del surco el agua no ha alcanzado a cubrir los requerimientos mínimos, perdiéndose parte de la misma por 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 suministrársele al suelo en cada riego, dependiendo 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 permiten 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.

### **1.5.1 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

### **1.5.2 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

### **1.6 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, & Delgado, 2011).

### **1.6.1 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, & 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 & 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 & Morábito, 2009).

### **1.6.2 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**

Al finalizar la fase de avance, si se continúa con el suministro de agua en el surco, comienza la fase de almacenamiento. 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. En un estudio del riego por surcos en el cultivo de la caña de azúcar, encontraron que el almacenamiento superficial es menor que el 5% comparado con la infiltración y el escurrimiento total ( (Testezlaf, Elliott, & y Garton, 1987)

### **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.

La longitud de recesión  $x_r$  puede ser calculada a partir de un tiempo  $t$  cuando el agua es cortada en el extremo inicial del surco, asumiendo que esta continúa

la misma tendencia de avance. El máximo tiempo de recesión necesitado por el suelo para absolver toda el agua acumulada sobre la superficie puede evaluarse sustituyendo  $x_r$  en la ecuación [2.2] y resolver para el tiempo  $t$  empleando el método de ensayo y error. Finalmente los puntos  $\dot{F}_{x_r, t_f}$  pueden plotearse en un gráfico de distancia contra tiempo.

(Essafi, 1983) señala que las fases de consumo y recesión a menudo se desprecian en el riego por surcos pues el volumen total de agua que permanece en el surco a partir del tiempo de corte es sólo un porcentaje pequeño del volumen total aplicado.

### **1.7 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, modificando y mejorando radicalmente 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 eficientizar 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 compitiendo con los pivotes de última generación y el goteo. La Universidad de Nebraska ha considerado al caudal discontinuo como una de las mejores prácticas de manejo (Roqué C. , 2009).

### 1.7.1 Manejo del riego intermitente

Los operadores de los sistemas de riego intermitente tienen dos objetivos principales:

(1) Avanzar el agua hacia el extremo final de los surcos, tan rápido como sea posible y (2) minimizar los escurrimientos durante los ciclos intermitentes siguientes (Henggeler & Wayne, 1985). Cuando se habla de manejo, se hace referencia a que las variables a controlar son el gasto por surco y el tiempo de ciclo. Estas variables fluctúan siempre al cambiar las condiciones del campo. El tiempo de ciclo (*cycle time*) es la suma del tiempo de apertura (*on time*) y el tiempo de cierre (*off time*); o sea el tiempo comprendido entre el comienzo de una intermitencia y el comienzo de la siguiente (Bishop, Walker, Allen, & y Poole, 1981). Un tiempo de apertura excesivo puede ser similar al riego con flujo continuo y causar excesivas pérdidas por percolación profunda. El tiempo de cierre debe ser lo suficientemente grande durante la fase de avance para que el agua se infiltre en el surco antes del próximo ciclo de intermitencia. Investigaciones de campo realizadas en Estados Unidos han demostrado que los tiempos de ciclos variables incrementan la eficiencia de aplicación hasta el 90% con la aplicación del riego intermitente. Con el uso del riego intermitente se han obtenidos resultados satisfactorios en suelos arenosos y de textura fina. Se ha logrado reducir en un 28% el consumo de agua total sobre terrenos arcillosos del altiplano de los EE.UU. Con el primer riego intermitente el consumo de agua se redujo a un 32% y solo un 16% para los siguientes cuatro riegos (Henggeler & Wayne, 1985). En otra prueba realizada sobre terreno arcilloso, el agua aplicada con riego intermitente para siembra de maíz se redujo de 39,1 cm con riego continuo a 16 cm con flujo intermitente. Generalmente el riego intermitente ofrece mejores resultados en el riego de presiembra y durante el primer riego de auxilio. Los riegos subsiguientes generalmente muestran menos diferencias entre el riego intermitente y el riego continuo. El empleo del riego de presiembra y riegos de auxilio de forma intermitente durante toda la campaña, permiten lograr una alta recuperación financiera, como consecuencia entre otros factores del incremento del 10-30% de la eficiencia del riego con un 25 a un 40 % menos de agua aplicada (Ecoriego, 2011)

### **1.7.2 Ventajas y Desventajas del riego intermitente**

(Testezlaf, Elliott, & y Garton, 1987) informan que los beneficios del riego intermitente parecen ser el resultado de la reducción de la velocidad de infiltración. Esto evidentemente no ocurre en todas las situaciones pues en algunas pruebas de campo el riego intermitente no ha exhibido ventajas frente al riego superficial convencional.

#### **Ventajas del sistema**

Los beneficios del riego intermitente son más que la aplicación uniforme del agua, regar más áreas en menor tiempo o el control del escurrimiento. El riego intermitente puede prevenir la acumulación de sales dentro de la zona radical, minimizar el drenaje superficial, las pérdidas de fertilidad y el stress de las plantas relacionado con el sobrehumedecimiento, también puede mejorar el rendimiento potencial de los cultivos. (Roqué C. , 2009) señaló otros beneficios del riego intermitente además de los ya mencionados: (1) ahorro de agua de 30 a 50% en comparación con los sistemas de riego por gravedad tradicional, (2) puede usarse en cualquier sistema de labranza, ya sea convencional, reducida o cero, (3) sirve para todo cultivo que pueda regarse por gravedad, ya sea cereales, oleaginosas, frutícolas, industriales y forestales, (4) controla la erosión por las características de la intermitencia y el uso de calcetines antierosivos en la cabecera de los surcos, (5) en cultivos extensivos de suelos francos-limosos y declive menor a 0.4% se pueden regar surcos alternos, aumentando así la eficiencia operativa, (6) reducción drástica de la mano de obra. Sin problemas de relieve, una persona puede regar hasta 100 ha, (7) su baja presión requiere bajo consumo de energía. Considerando el mismo caudal se requiere  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ , comparado con  $3 \text{ kg/cm}^2$  para un pivote central, (8) semiautomatización del sistema. Una persona puede controlar el equipo haciendo cambios de juegos de surcos cada 8 a 12 horas, con el uso de computadoras, (9) eficiencias de aplicación similares a la aspersión; es decir 80% como promedio y en dependencia de la textura y el declive puede llegar hasta 85%, (10) longitudes de surcos mayores que las tradicionales (400 a 800 m) según la textura y la pendiente, (11) costo operativo de aproximadamente \$ 0.20 USD por mm de agua aplicada por hectárea, gracias a la reducción notable de energía y mano de obra necesaria, (12) costos de mantenimientos



prácticamente nulo, comparado con los sistemas de riego presurizados, (13) no deja esquinas sin regar como los pivotes, (14) inversión por hectárea de 250 a 300 USD para superficies mayores de 40 hectáreas y (15) sí se desea, permite aplicar láminas pequeñas y frecuentes.

### **Desventajas del sistema**

Según (Roqué G. , 1996) el sistema de riego por caudal intermitente tiene algunas desventajas obvias y otras no tan notables: (1) no es aplicable a campos con topografía ondulada donde los movimientos de tierra sean tan importantes que comprometan el perfil del suelo. Se recomienda su aplicación en terrenos con declive de 0.1 a 2%; (2) en superficie de gran extensión puede requerir algunos retoques de la topografía para corregir el micro relieve y (3) existe un preconceito muy arraigado que asocia este sistema con los surcos tradicionales y sus inconvenientes, que el caudal discontinuo resuelve. (García, Dehoguez, & Tzenova, 1996) refieren que el riego intermitente presenta algunas desventajas como son: (1) su diseño y uso práctico tiene un mayor grado de complejidad que el riego continuo y (2) el equipo de riego tiene una inversión inicial y requiere un costo de mantenimiento permanente.

### **1.8 La eficiencia del riego.**

El agua es un bien cada vez más escaso no solo por la cantidad sino también por la calidad y como tal los principales usuarios, que son los agricultores, están obligados a usarla con la mayor “eficiencia” posible. Aun en los territorios hasta ahora considerados con agua para riego suficiente, una aplicación con bajo control se puede traducir en problemas de contaminación del acuífero que repercutirán negativamente en los agricultores situados aguas abajo. El uso de más agua de la necesaria para el desarrollo óptimo de los cultivos puede impedir la instalación de nuevos sistemas en otras zonas y/o provocar un sobre dimensionamiento de las obras hidráulicas. La eficiencia de aplicación del agua en un sistema de riego es la proporción porcentual entre la cantidad de agua almacenada en la zona del sistema radical (disponible para la planta) y la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego. De esta manera, se tienen en cuenta las pérdidas debidas a la falta de uniformidad en la aplicación, a la percolación profunda, a las fugas en tuberías y a la evaporación y arrastre por

el viento. Los regadores históricamente han resuelto los problemas de falta de uniformidad aplicando riegos mayores de los que se necesitarían si la aplicación fuera uniforme. Esta solución es de carácter puramente práctico, la aplicación de más agua de la necesaria facilita el lavado de los fertilizantes e incrementa los costos de operación (González, 2008). Las pérdidas de agua durante el riego pueden ser por:

**Por escorrentía:** Es la fracción del agua de riego que circula sobre la superficie del suelo al regar, sin llegar a infiltrarse en el mismo. Estas pérdidas pueden ser significativas en riegos por superficie, sobre todo cuando la pendiente del terreno es superior al cuatro por mil. En aspersión este tipo de pérdidas se produce cuando la pluviometría es mayor que la velocidad de infiltración. La escorrentía puede producir erosión en parcelas con pendiente. Además, la escorrentía induce arrastre de fertilizantes y productos fitosanitarios. El agua de escorrentía viaja mediante el sistema de drenaje a cauces superficiales.

**Por percolación profunda:** Es la fracción del agua de riego que se infiltra en el suelo y atraviesa la zona radicular sin quedar retenida en ella. Por ejemplo, en el riego por goteo, estas pérdidas son las únicas que se consideran, ya que los otros tipos de pérdidas no tienen importancia. El agua que percola va en parte a los acuíferos y en parte se mueve lateralmente hacia el sistema de drenaje. Aunque el agua de percolación puede ser reutilizada posteriormente por otros agricultores, la calidad del agua puede estar deteriorada. Este tipo de pérdidas están relacionadas con el buen o mal manejo del agua. Las pérdidas de percolación suelen ser importantes en el riego por superficie. Cuando el suelo infiltra mucha agua, o puede retener poca, más de la mitad del agua de riego puede acabar como percolación profunda. En estas condiciones se produce un lavado de abonos y productos fitosanitarios que pueden llegar a contaminar los acuíferos. También puede producirse una salinización del suelo por ascenso capilar de agua en zonas mal drenadas.

**Pérdidas por evaporación y arrastre:** Estas pérdidas son muy importantes en el riego por aspersión. En condiciones de viento moderado a fuerte puede hacer que el 25% del agua que sale de los aspersores no alcance el suelo. Esta agua es evaporada por el viento o bien arrastrada en la corriente de aire a las parcelas vecinas. Para minimizar estas pérdidas se puede actuar sobre el diseño de los sistemas de aspersión y de la red de distribución. Así, si la red tiene suficiente capacidad, es posible regar cuando no hace viento o de noche, y así evitar las condiciones adversas.

**Pérdidas en el transporte y sistemas de distribución:** Estas pérdidas suelen ocurrir en canales no revestidos o con revestimientos en mal estado y por salideros en el caso del riego por aspersión. A veces no es posible utilizar el agua de riego y se vierte a los desagües por los aliviaderos en los cambios de sección y por las colas de los canales. Estas pérdidas son con frecuencia debidas a la carencia de partidores, compuertas de nivel constante y de limitadores de caudal en redes a presión. También guarda relación con estas pérdidas y la falta de limpieza de los canales, lo que disminuye la capacidad de transporte.

Según (Morábito J, 2005), el movimiento del agua a través de un sistema de riego, desde la fuente de agua hasta el cultivo, puede ser visto como tres operaciones separadas: conducción, distribución y aplicación del agua en la parcela. La conducción implica el movimiento del agua desde la fuente de agua a través de los canales primarios y secundarios. La distribución de agua comprende al movimiento del agua en la red de canales terciarios. La aplicación del agua en la parcela corresponde al movimiento del agua desde la bocatoma de la parcela hasta el cultivo. Conceptualmente definir si un sistema de riego es suficiente (o adecuado) depende de: la cantidad de agua almacenada en la rizófora, las pérdidas por percolación por debajo de la zona radicular, las pérdidas de agua por escurrimiento al pie de la unidad de riego, la uniformidad del agua aplicada y el déficit remanente en la rizófora después del riego. El fin último del desempeño dependerá de la optimización de la producción y las utilidades.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realiza en la localidad “El Seis”, finca del campesino Anselmo Companioni Poza, ubicada en la zona perimetral Norte de la ciudad de Jatibonico, a una distancia de 30 Km de la cabecera provincial de Sancti Spiritus. En suelos Pardo sialítico carbonatado (Hernández, y otros, 1999), que se puede correlacionar, según (Hernández, Ascanio, & Morales M. y Cabrera, 2005) con el *Cambisol Cálcico* según *World Referente Base* (WRB) (Deckers, 1998) y con *Calcic Haplustept* de la *Soil Taxonomy* (Survey, 2003)

Para evaluar los parámetros fundamentales en la actividad del riego se utiliza como referente el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con una variedad de colecta local a un marco de plantación de 0.08m x 0.45m. La actividad de preparación de suelo es realizada por el método de laboreo mínimo, con una pendiente de 1,6%., en un diseño triangular de taludes próximo a 45°.

El diseño experimental empleado es de parcelas en franja con cuatro tratamientos compuestos de 10 surcos cada uno utilizado anteriormente por (Brown, 2000) y (Rodríguez, Santana, & Delgado, 2011) y (Rodríguez, 2014) una distancia de 50 m por cada surco, su empleo obedece a la simulación de las prácticas comunes que realizan los productores, siguiendo así el requisito de tipicidad planteado por (Fuentes, Abreu, Fernández, & Castellanos, 1999)

En la tecnología de riego intermitente o por pulso según se conoce internacionalmente, existen dos criterios de manejos fundamentales: Tiempos variables con distancia de avance constantes y tiempos constantes con distancia variables, el cual es el que se utiliza en la presente investigación. Los estudios realizados en este campo plantean que el tiempo de entrega de agua al surco o tiempo “on” como se conoce, están entre el rango de los 10 hasta los 20 minutos. Siendo así, se determinaron en el campo cuatro tratamientos de acuerdo a los diferentes parámetros considerados para evaluar el desempeño y calidad del riego por surcos, los cuales se describen a continuación:

**Tratamiento A:** Se realiza la actividad del riego por surcos con caudal intermitente con un tiempo de entrega de agua en la cabeza de surco de 20 minutos cada riego a intervalo de cuatro minutos.

**Tratamiento B:** Se realiza la actividad del riego por surcos con caudal intermitente con un tiempo de entrega de agua en la cabeza de surco de 15 minutos cada uno a intervalo de cuatro minutos.

**Tratamiento C:** Se realiza la actividad del riego por surcos con caudal intermitente con un tiempo de entrega de agua en la cabeza de surco de 10 minutos cada uno a intervalo de cuatro minutos.

**Tratamiento D:** Se realiza la actividad del riego superficial según las costumbres y los caudales utilizados por los campesinos en la zona.

## 2.1 Propiedades hidrofísicas del suelo.

### 2.1.1 Densidad del suelo

La densidad del suelo está 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 (Pérez R. y., 2008) y (Rodríguez, 2014)

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

Donde:  $\rho$  = densidad del suelo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $m$  = 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.

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<sup>3</sup>, 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 °C en la estufa.

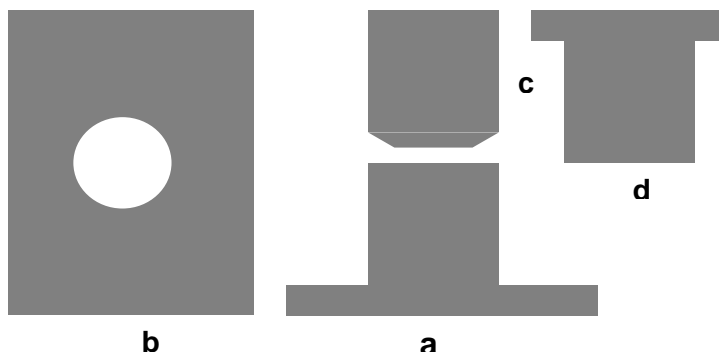


Fig. 2 Fuente: Santana, 2007

### 2.1.2 Capacidad de campo

El concepto de capacidad de campo ( $C_c$ ) según (Pérez R. y., 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”. Las muestras se tomaron con una barrena de tipo tirabuzón, cada 10 cm en una profundidad de 40 cm 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. Esta propiedad se determinó por la ecuación [2.4] propuesta por (Santana, 2007).

$$C_c = \frac{P_H - P_S}{P_S} \cdot 100 \quad [2.4]$$

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

## 2.2 Evaluación de los 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. 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 diseñó 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 diseñar 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 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) y según la ecuación [2.5] propuesta por (Israelsen, 1965) para determinar su magnitud. El instrumento se colocó en la estación cero que se ubicó a 2 m de separación del zanjillo y la tubería con compuerta.

$$Q = C H^{5/2} \quad [2.5]$$

Donde: Q: Gasto a través del vertedor (l/s); C: Coeficiente de gasto para el vertedor triangular (1,38); H: Tirante (cm) altura del vertedor

### 2.2.2. Geometría del surco de riego.

La medición de la variación de la geometría del suelo se realizó mediante la metodología utilizada por (Santana, 2007), mediante la utilización del perfilómetro en las secciones transversal de las nueve 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

### 2.2.3 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 [2.6] de *Mannign* citada por García y Fontova (1998) y Morábito (2005). El caudal máximo no erosivo ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) por la expresión [2.7] propuesta por Hamard y Stringham (1978) citados por (García & Fontova, 1998) y (Pérez R. y., 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.

$$V_{m\acute{a}x} \cong \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} . S^{\frac{1}{2}} \quad [2.6]$$

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

$$Q_{m\acute{a}x} \cong \frac{C}{S^a} \quad [2.7]$$

Donde: Q<sub>máx</sub>: Gasto máximo no erosivo, en l/s; S: Pendiente del surco (%); C y a: Coeficientes experimentales que dependen del tipo de suelo

### 2.2.4 Lámina total aplicada

La lámina total aplicada ( $y_t$ ) para determinar el volumen de agua aplicado se usó el método propuesto por (García & Fontova, 1998), como lámina total aplicada ( $Y_t$ ) [2.8].

$$Y_t \bar{a} \cong \frac{60.Q.ta}{W.L} \quad [2.8]$$

Donde: Q: Gasto de diseño, (m<sup>3</sup>/ha); ta: Tiempo de aplicación, (h); W: Espaciamiento entre surcos (m); L: Longitud del surco (m).



### 2.2.5 Eficiencia de aplicación

Se calculó la eficiencia de aplicación (*EAP*) por el modelo matemático expresado en la ecuación [2.9] (Morábito J, 2005) 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.

$$EAP = \frac{V_{IAI}}{V_{Aplicada}} \cdot 100 \quad [2.9]$$

Donde: *EAP*: Eficiencia de aplicación; *VIAL*: Volumen de agua infiltrada y almacenada; *VAplicada*: Volumen de agua aplicada

### 2.2.6 Medición del escurrimiento superficial

Se diseñó 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

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, 2004) y (Carolina, 2009) para medir lámina escurrida [2.13], Intensidad de escurrimiento [2.14] y producción de sedimento [2.15]. La influencia del suelo, la pendiente, la vegetación en cada tratamiento, fue uniformes en la parcela de escurrimiento.

$$Le = \frac{Veo}{A} \quad [2.13]$$

Donde: *Le*: Lámina escurrida (m<sup>3</sup>/ha); *Ve*: Volumen de agua escurrida (m<sup>3</sup>); *A*: Área del lote de escurrimiento (ha).

$$Ie = \frac{Veo}{t} \quad [2.14]$$

Donde: *Ie*: Intensidad del escurrimiento (m<sup>3</sup>/h); *Ve*: Volumen de agua escurrido (m<sup>3</sup>); *t*: Tiempo de riego (h)

$$A_s = Veo \cdot Ps \quad [2.15]$$

Donde: *As*: Producción del sedimento (Kg /m<sup>3</sup>); *Ps*: Peso del sedimento (Kg); *Ve*: Volumen de agua escurrida (m<sup>3</sup>)

### **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 realizó mediante el test de rangos múltiples de Duncan para un 95% de confianza, con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar uno o más pares como significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

También se realizaron correlaciones entre algunas variables así como la de capacidad de campo y densidad del suelo

### 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 Propiedades hidrofísicas del suelo.

##### 3.1.1 Densidad del suelo

La baja densidad del 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 como se muestra en la tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1. Valores de densidad del suelo.

Profundidad en cm	Densidad del suelo (da) g/cm <sup>3</sup>
0-10	0,89
10-20	0,88
20-30	0,87
30-40	0,87

En el presente suelo se percata como a medida que descende la profundidad en el perfil, la densidad disminuye, otros autores como (Rodríguez, 2014) se presenta de forma diferente ya que la densidad aumenta a medida se profundiza en el perfil, esto puede estar dado por las características propias del suelo pardo donde se realiza el presente trabajo.

##### 3.1.2 Capacidad de campo

Durante los 40 cm de profundidad (tabla 3.1.2) los valores de capacidad de campo (Cc) son adecuados para este tipo de suelo al compararse con lo que informa (Bagué, 2005), aumentando en las profundidades subyacentes, condicionando altas capacidades de retención de agua en el suelo. Bajo este comportamiento el agua disponible y fácilmente utilizable por el cultivo se mantiene por un mayor período de tiempo en el suelo.

El mayor porcentaje de raíces en el cultivo del frijol se localizan en los primeros 40 cm de profundidad, estas raíces son las responsables de extraer la mayor cantidad de agua que requiere la planta, según (Ríos, 2005) citado por (Delgado, 2011).

Tabla 3.1.2. Valores de capacidad de campo a las 72 horas.

Profundidad(cm)	PSH (g)	PSS (g)	Cc (%)
0-10	64,599	46,454	39,06
10-20	70,576	48,938	44,22
20-30	71,786	49,225	45,83
30-40	82,566	56,204	46,90

Nota: PSH (Peso del suelo húmedo), PSS (Peso del suelo seco), Cc (Capacidad de campo)

Como se aprecia en la tabla anterior la densidad aumenta a medida que profundice en el perfil, esto se comporta inversamente proporcional a la densidad del suelo. En la figura 3 se muestra como a existe una tendencia negativa donde la capacidad de campo aumenta a medida que disminuye la densidad.

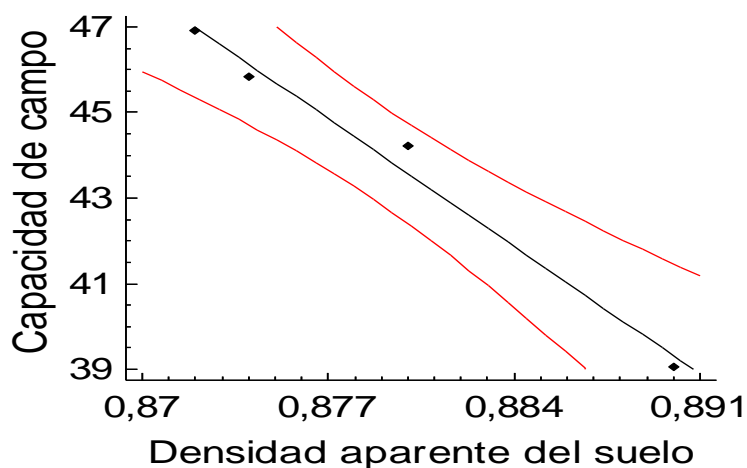


Figura 3: Relación entre Densidad del suelo y Capacidad de campo

### 3.2 Aforo del agua para riego y Caudal máximo no erosivo

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). Según las condiciones y tipo de suelo en las que se desarrolló la presente investigación con un desnivel de 1,6 % y utilizando la fórmula propuesta por (García & Fontova, 1998) y (Pérez R. y., 2008). Se obtuvo un gasto máximo no erosivo de 0,46 L/s, los resultados obtenidos que posteriormente se expondrán presentan resultados muy por encima a los parámetros de diseño establecidos. Los caudales de entrega en los cuatro tratamientos se emplearon obedeciendo a la simulación de las prácticas comunes que realizan los productores de la zona, siguiendo así el requisito de tipicidad planteado por (Fuentes, Abreu, Fernández, & Castellanos, 1999). Teniendo en cuenta lo antes planteado se puede apreciar en la tabla 3.2 que dichos valores están muy por encima del gasto máximo permisible siendo el tratamiento D, el que muestra mayores caudales causando mayor erosión en el surco.

Tabla 3.2: Caudal de entrega a partir de la lectura del vertedor durante los eventos de riego (L/s) (Media  $\pm$  desviación estándar).

Tratamientos	Número de riegos					Media $\pm$ S
	1	2	3	4	5	
A	0,77	0,89	0,94	1,02	1,02	0,93 $\pm$ 0,05
B	0,81	0,66	0,98	0,89	0,89	0,85 $\pm$ 0,05
C	0,81	0,72	0,70	0,70	0,70	0,73 $\pm$ 0,02
D	0,81	1,05	1,12	1,09	1,12	1,03 $\pm$ 0,05
Sig						0,002
CV%						5,34

Letras no comunes difieren según la prueba de rangos múltiples de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

En la figura 3.2 podemos apreciar un promedio de los caudales de entrega para cada tratamiento, en la misma se hace visible que los cuatro tratamientos arrojan un promedio de caudal de entrada muy por encima del gasto máximo no erosivo calculado para este tipo de suelo como se describió anteriormente, el mayor caudal de entrada lo posee la variante donde se utilizó el riego continuo y un menor caudal de entrada para el tratamiento C donde se utilizó el riego por surcos con intermitencias de cuatro minutos de tiempo “*of*” y diez minutos de tiempo “*on*”. Se puede observar que a medida que disminuyen los tiempos de entrega de cada tratamiento, es proporcional el comportamiento de los caudales donde existe una diferencia significativa ente el caudal C y el A.

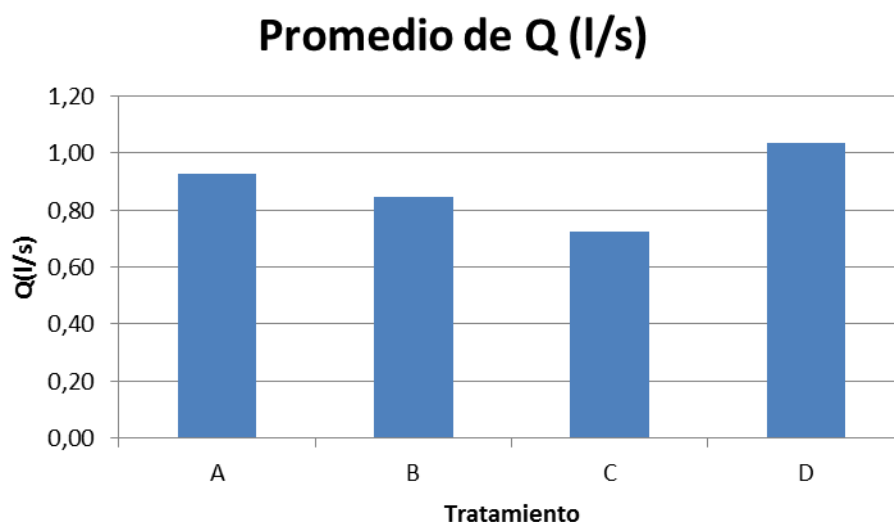


Figura 4: Caudales promedio para cada tratamiento.

### 3.3 Geometría del surco de riego

Durante la actividad del riego superficial existen una serie de eventos que cuando no se manejan de forma adecuada dan lugar a procesos de erosión hídrica, la cual es muy común en las parcelas de cultivo con alta pendiente como es el caso de este trabajo. Autores como (Santana, 2007) plantean que los cambios ocurridos obedecen a un movimiento pasivo de suelo relacionado con hinchamiento y acomodo de las partículas a lo largo del perfil del surco.

En el presente trabajo existe una gran variación en cuanto a la lámina promedio del perfil del surco, para una mejor comprensión se dividieron las diez

estaciones en tres tercios promediando la lámina intermedia para cada tercio en cada riego como se muestran en las próximas cinco figuras.

Como se puede observar muy claramente en la figura 5 perteneciente al primer riego, la tendencia es a disminuir la lámina de suelo aumentando significativamente en el tercer tercio, en el caso específico del tratamiento D, se observa una acumulación positiva de sedimento en su primer tercio lo que puede estar dado y se comprobó por el método de la observación en el área experimental que existió un ingreso significativo de sedimentos y partículas provenientes del canal de conducción.

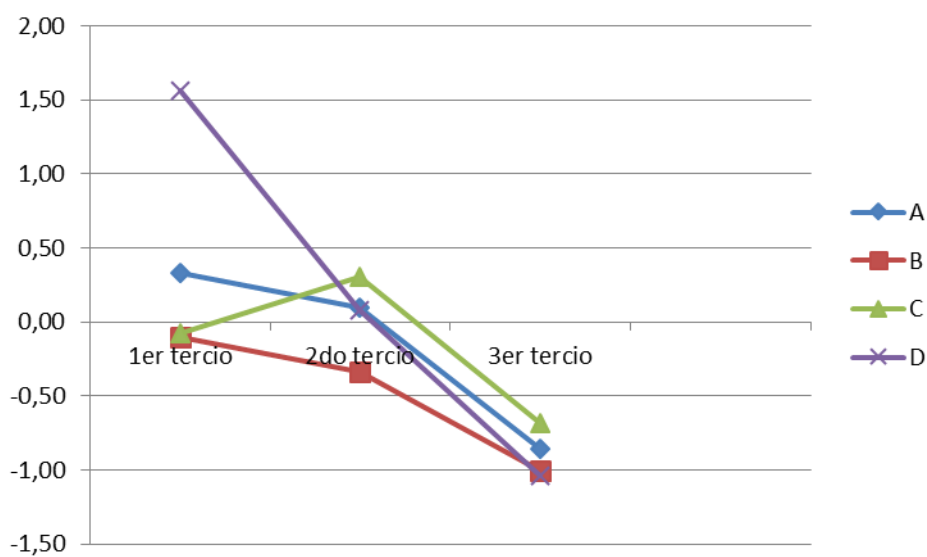


Figura 5: Lámina del perfil del surco en el primer riego.

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. En este evento no existe acumulación de sedimento en ningunos de los tercios de los tratamientos, todos se comportan de forma negativa representando pérdidas de suelo a lo largo del surco.

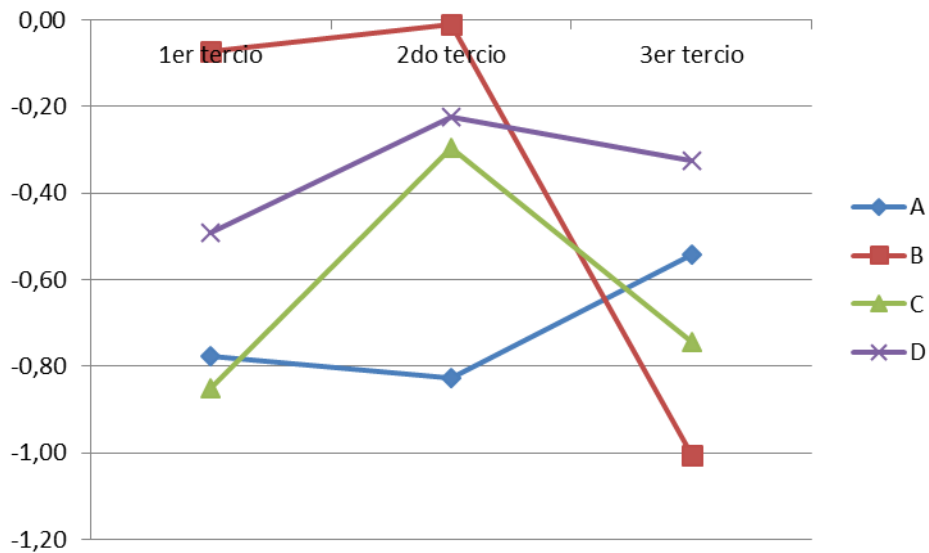


Figura 6: Lámina del perfil del surco en el segundo riego.

Al observar los tratamientos B, C y D encontramos que la pérdida de sedimentos se hace menor en el centro del surco, no siendo así el caso de A, el cual presenta sus mayores pérdidas en el segundo tercio, las mayores pérdidas en el final del surco las presenta el tratamiento B.

Realizado el tercer riego se comprueba que tratamientos como el A y el D mantienen los mismos patrones de presentar mayores pérdidas en el inicio y final del surco de la lámina del perfil. Por otra parte el tratamiento B y C presentan sus mayores pérdidas en las estaciones del segundo tercio. El nivel de esta figura y con la observación de los tres riegos podemos apreciar hechos como en el caso del tratamiento B el cual en cada riego pierde alternativamente suelo del centro y sucesivamente del extremo del surco, lo que esta tendencia en este tratamiento y el resto denota un evidente movimiento del sedimento en sentido de la pendiente a lo largo del surco entre riegos.



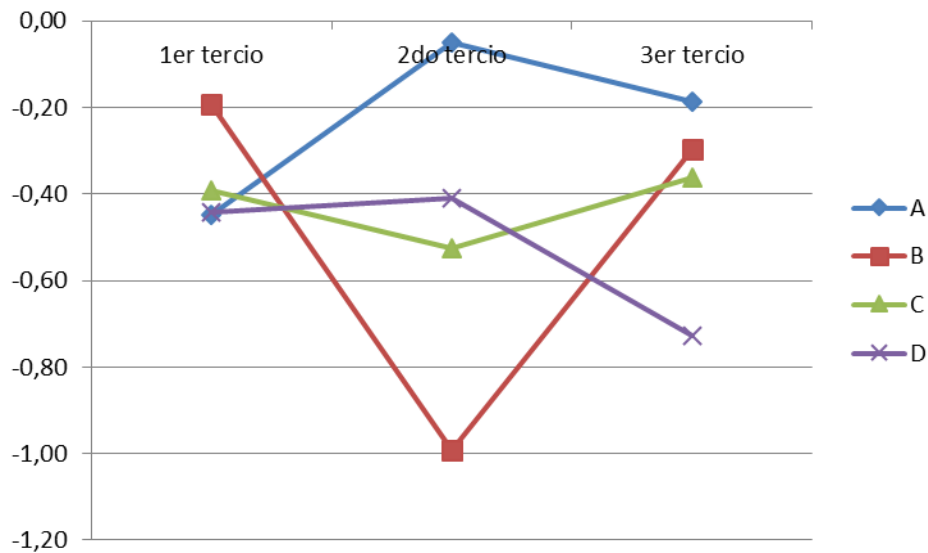


Figura 7: Lámina del perfil del surco en el tercer riego.

En la figura 8 la tendencia entre los tratamientos es igual, con excepción del B el cual presenta valores de acumulación de sedimento significativos en el final del surco, este comportamiento es lógico si observamos que en el riego anterior este tratamiento fue el que más pérdida de sedimento presentó en el segundo tercio del surco, lo que denota un evidente traslado de estas partículas al final del surco. Los demás tratamientos presentan pérdidas significativas de hasta 40 mm de la lámina en el primer y último tercio, siendo menor el arrastre en el centro del surco. De igual forma en la figura 3.3.4 se observa una tendencia igual al riego anterior, en estos riegos la cantidad de sólidos y partículas disueltas en el surco son menores por lo que las fluctuaciones a lo largo del surco son menos significativas.

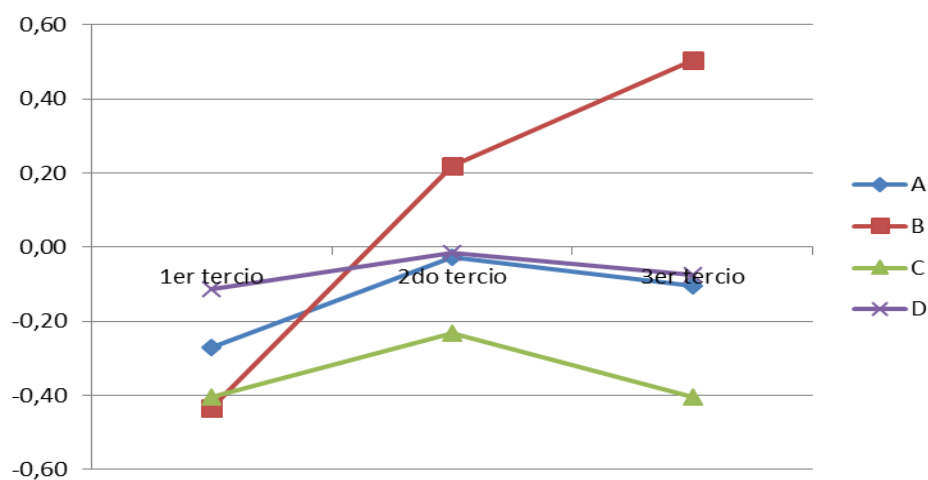


Figura 8: Lámina del perfil del surco en el cuarto riego.

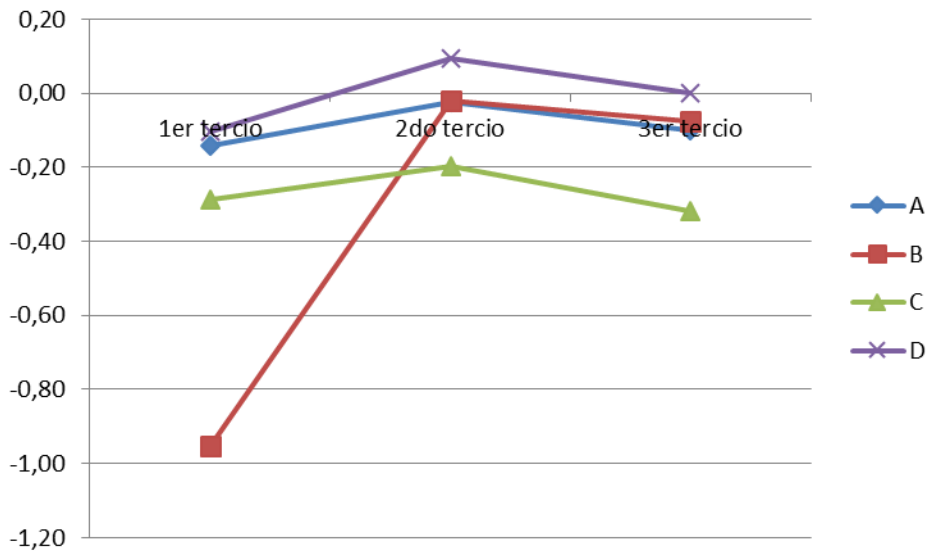


Figura 9: Lámina del perfil del surco en el quinto riego.

Como anteriormente se plantea los caudales utilizados en esta 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.

### 3.2.1 Velocidad de avance:

En la tabla 3.2.1 se muestra el comportamiento de la velocidad de avance del frente de agua para todos los riegos. Como se aprecia la velocidad tiende a disminuir en todos los tratamientos excepto en el C donde la velocidad fluctúa a medida que avanzan los riegos. Existen diferencias significativas entre los tratamientos con riego intermitente y el tratamiento con caudal continuo, las medias  $\pm$  el error estándar de cada tratamiento se encuentran por debajo de la

velocidad máxima permisible para este tipo de suelo ( $V_{max} = 0,76$  m/seg), parámetro calculado según la ecuación de Mannign teniendo en cuenta el área mojada, el perímetro mojado, el radio hidráulico y un coeficiente de rugosidad de 0,03 para surco sin vegetación, lo que demuestra que la relación que existe entre la distancia y el tiempo de avance son correctos para este tipo de suelo con este método de riego. Resultados similares fueron los obtenidos por (Rodríguez, 2014), logrando velocidades de avances por debajo de la velocidad máxima permisible.

Tabla 3.2.1: Velocidad de circulación (m/s) del agua durante los eventos de riego. (Media  $\pm$  desviación estándar)

Tratamientos	Riegos					Media $\pm$ S
	1	2	3	4	5	
A	0,50	0,34	0,34	0,31	0,33	0,36 $\pm$ 0,03
B	0,45	0,42	0,38	0,42	0,35	0,40 $\pm$ 0,02
C	0,39	0,44	0,39	0,44	0,32	0,40 $\pm$ 0,02
D	0,30	0,17	0,20	0,19	0,20	0,21 $\pm$ 0,02
Sig						0,0002
CV (%)						7,26

La figura 10 muestra los valores de la velocidad de avance del frente de agua en función de la distancia recorrida, se hace evidente la tendencia a disminuir la velocidad a medida que avanza el frente de agua por el surco para los cuatro tratamientos siendo el D el de menor velocidad de avance lo que demuestra que los riegos por surco con caudal intermitente alcanzan más rápido el fondo del surco que el riego continuo, destacándose los tratamientos B y C que poseen la mayor velocidad de avance alcanzando valores en el último tercio del surco por debajo de lo establecido para los parámetros recomendados internacionalmente (0,25 m/seg para suelos arcillosos) según plantea (García & Fontova, 1998) y Malin Matov citado por (Pacheco, 2006). Favoreciendo así a la disminución del arrastre y pérdida de la capa superficial del suelo, y a su vez a una mejor uniformidad del riego e infiltración del agua en suelo para un mayor aprovechamiento de la misma por la planta.

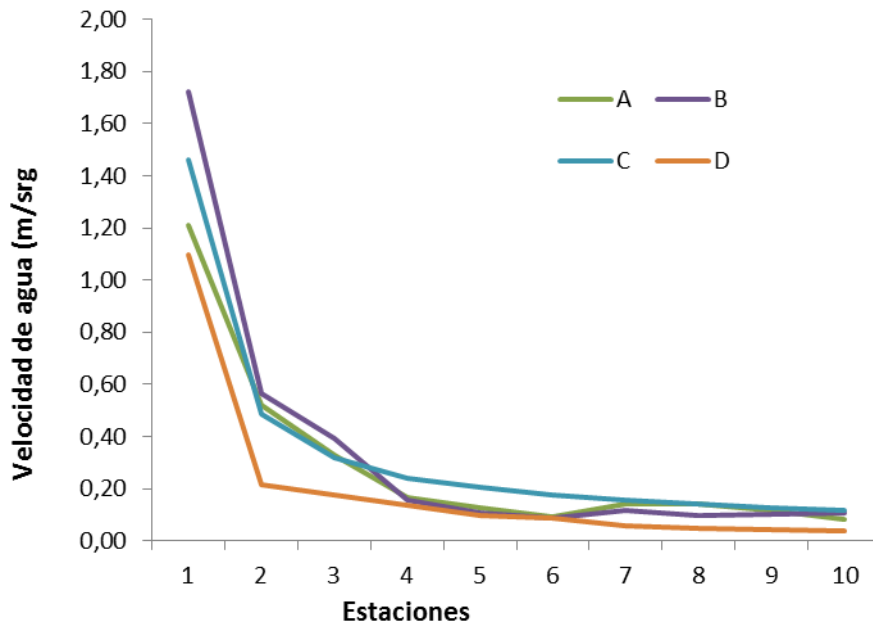


Figura 10: Velocidad del frente de agua en relación con la distancia recorrida

### 3.2.2 Lámina Total Aplicada ( $Y_t$ ). ( $m^3/ha$ )

Otro de los parámetros hidráulicos que determina en el desarrollo eficiente del riego superficial es la lámina total aplicada. En la tabla 3.2.2: se representan los valores *media ± desviación* estándar de los valores de la lámina total aplicada para los 5 eventos de riego. A partir de este análisis se puede apreciar que existen diferencias significativas en la lámina aplicada entre los tratamientos. La menor lámina total aplicada para los cinco riegos la alcanza el tratamiento C donde la misma es 3,4 veces menor que el tratamiento donde se aplicó riego por surcos de forma continua (D), lo que demuestra que con pulsos de diez minutos de tiempo "on" y cuatro minutos de tiempo "of" 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 obedeciendo prácticas comunes de los productores de la zona

TABLA 3.2.2: Lámina total aplicada yt (m<sup>3</sup>/ha). (media  $\pm$  desviación estándar)

Tratamientos	Riegos					Media $\pm$ S
	1	2	3	4	5	
A	45,88	55,64	57,50	64,10	63,69	57,36 $\pm$ 3,32
B	40,16	30,75	48,04	43,12	42,91	41,00 $\pm$ 2,86
C	30,28	26,22	25,06	26,04	23,16	26,15 $\pm$ 1,17
D	54,36	86,95	101,49	99,46	99,22	88,30 $\pm$ 8,86
Sig						0,0000
CV (%)						9,36

### 3.2.3 Eficiencia de aplicación

En la tabla 3.2.3: se representan, para cada tratamiento, los valores de eficiencia de aplicación (EAP) medio en las evaluaciones realizadas. El mejor tratamiento fue el A seguido de forma cuantitativa por el tratamiento B y C, 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 90 % llegando en ocasiones a superar el 95% superiores a los rangos citados para este sistema de riego por (Camacho, Pérez, & Roldan, 1997) citado por (Morábito J, 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 litros aplicados, se puede apreciar que el tratamiento A aporta 96,5 litros de agua útil para la planta, superando al riego continuo en 2,8 litros por cada 100 litros aplicados para este tipo de suelo.

TABLA 3.2.3. Eficiencia de aplicación (*EAP* %) (Media  $\pm$  desviación estándar)

Tratamientos	Riegos					Media $\pm$ S
	Riego 1	Riego 2	Riego 3	Riego 4	Riego 5	
A	97,5	92,9	95,7	98,8	97,7	96,52 $\pm$ 1,03
B	98,2	92,8	91,1	97,9	93,5	94,7 $\pm$ 1,42
C	97,3	90,7	93,6	90,5	97,0	93,82 $\pm$ 1,47
D	94,0	95,6	91,8	91,6	92,8	93,16 $\pm$ 0,74
Sig						0,3
CV (%)						1,27

Como se puede apreciar en el figura 11 la eficiencia de aplicación promedio en los tres tratamientos donde se aplicó el riego con intermitencias está por encima de la variante donde se utilizó el riego por surcos de forma continua, resultados similares a los alcanzados por (Rodríguez, 2014). Lo anterior demuestra que el uso de variantes de riego con intermitencias incrementa el área regada en menos tiempo con mayor uniformidad de riego y aumenta la eficiencia de aplicación.

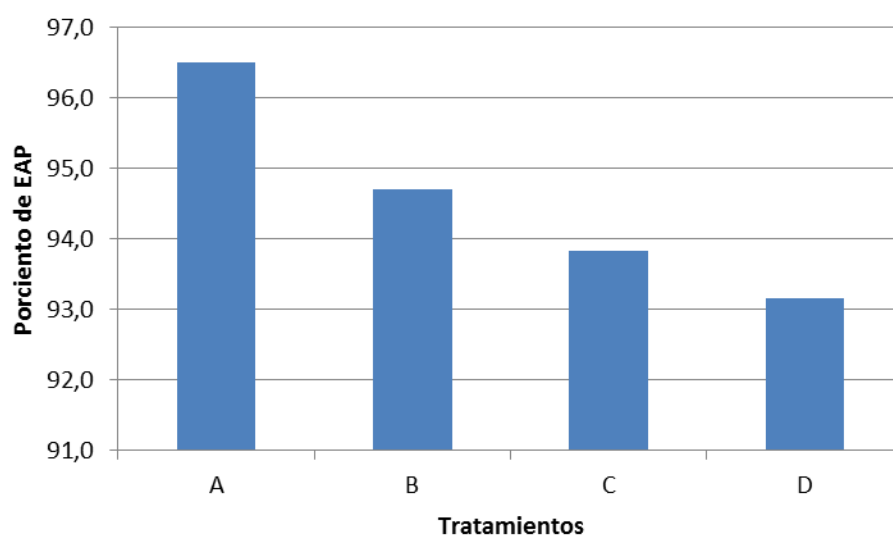


Figura 11: Eficiencia de aplicación promedio de los cinco eventos de riego efectuados

### 3.3 Escurrimiento superficial y producción de sedimento

#### 3.3.1 Volumen de agua escurrida (L)

El volumen de agua escurrida constituye un factor importante a la hora de analizar el escurrimiento superficial, el mismo refleja la cantidad de agua que se pierde durante el proceso de riego. En la tabla 3.3.1 se reflejan los resultados arrojados del volumen de agua escurrida para los cuatro tratamientos durante los cinco riegos, se hace evidente la pérdida de agua superior tanto en la variante donde se aplicó el riego intermitente con pulsos de 20 minutos de tiempo “on” como en la que se aplicó el riego continuo (D) no así en los tratamientos B y C que se usó las intermitencias de 15 y 10 minutos respectivamente, destacándose este último en el que las pérdidas fueron un 42,1 % menores que en el tratamiento A y un 40,7 % menores que en el Testigo (D).

Tabla 3.3.1. Volumen de agua escurrida (L) (Media  $\pm$  desviación estándar)

Tratamientos	Riego 1	Riego 2	Riego 3	Riego 4	Riego 5	Media $\pm$ S
A	94	229	146	46	83,5	119,7 $\pm$ 31,6
B	40	86	156	49,5	104,6	87,22 $\pm$ 20,84
C	40	97,5	80	92	37	69,3 $\pm$ 12,90
D	49	57	165	171	142	116,8 $\pm$ 26,52
Sig						0,4
CV (%)						24,4

#### 3.3.2 Lámina escurrida (m<sup>3</sup>/ha)

La parcela de escurrimiento como herramienta diseñada por (Rodríguez, Santana, & Delgado, 2011) permitió determinar las pérdidas de agua por escorrentía y su intensidad. Como se muestra en la tabla 3.3.2 el mayor volumen de agua escurrida promedio lo alcanzó el tratamiento A con 26,60 (m<sup>3</sup>/ha) que supera en 1,02 veces al tratamiento D, en 1,3 veces al tratamiento B y en 1,7 veces al tratamiento C 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. Solo superado por el tratamiento A, el cual se le atribuye los niveles de la lámina tan altos a el tiempo de diseño del tratamiento de entrega de agua en el inicio del surco. A pesar de la intermitencia de cuatro minutos, el tiempo "on" en este tratamiento está marcado por 20 minutos, tiempo en el que el frente de agua en la primera intermitencia supera la mitad del surco, siendo suficientes los posteriores pulsos para lograr la culminación del riego en la distancia prefijada y realizar además un riego de remojo, lo que causa niveles tan altos de la lámina escurrida.

TABLA 3.3.2: Lámina escurrida ( $m^3/ha$ ) de las cinco variantes en estudio.

(*media  $\pm$  desviación estándar*)

Tratamientos	Riego1	Riego2	Riego3	Riego4	Riego5	Medias $\pm$ S
A	20,89	50,89	32,44	10,22	18,56	26,6 $\pm$ 7,03
B	8,89	19,11	34,67	11,00	23,24	19,38 $\pm$ 4,63
C	8,89	21,67	17,78	20,44	8,22	15,14 $\pm$ 2,86
D	10,89	12,67	36,67	38,00	31,56	25,96 $\pm$ 5,89
Sig						0,4098
CV (%)						24,4

En la figura 12 se ilustra el porcentaje que representó las pérdidas de agua a partir de división de las pérdidas por escorrentía (PE) y la lámina total aplicada (yt). Se destaca el tratamiento C, donde las pérdidas promedio representan el menor porcentaje y respecto al tratamiento D, se reduce en 40,66 %. Al comparar el tratamiento C con el D se puede apreciar que el porcentaje de pérdidas de agua es 1,76 veces menor Por lo que se arriba a la conclusión que la relación que existe entre gasto - velocidad y tiempo de avance están estrechamente relacionados con las pérdidas por escorrentías y la eficiencia de aplicación.



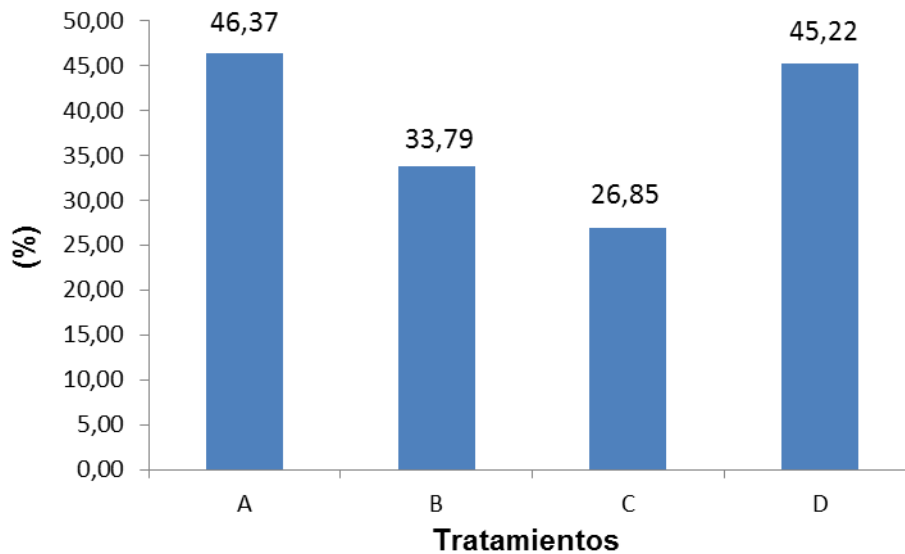


Figura 12: Porcentaje que representa la lámina escurrida de la lámina total aplicada.

### 3.3.3 Intensidad del escurrimiento ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

La intensidad del escurrimiento está en correspondencia con las pérdidas de agua por escorrentía, el tratamiento D (Testigo) represento la mayor intensidad debido a que los volúmenes de agua colectada en el tiempo son superiores a los demás tratamientos. En este tratamiento las pérdidas de agua alcanzan una intensidad de  $0,83 \text{ m}^3/\text{h}$  como media para cada riego aplicado. Este tratamiento superó 1,3 veces al tratamiento A, 1,25 veces al tratamiento B y 1,20 veces al tratamiento C. En la tabla 3.3.3 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 riegos, no siendo así con el testigo el cual aumenta en más de la mitad con respecto a sus valores en el primer riego.

Tabla 3.3.3: Intensidad de escurrimiento (m<sup>3</sup>/min/ha) de las cuatro variantes en estudio. (media  $\pm$  desviación estándar)

Tratamientos	Riego 1	Riego 2	Riego 3	Riego 4	Riego 5	Medias $\pm$ S
A	0,9	0,7	0,6	0,4	0,6	0,64 $\pm$ 0,08
B	0,3	0,7	0,9	0,6	0,7	0,64 $\pm$ 0,1
C	0,4	0,8	0,8	0,8	0,6	0,68 $\pm$ 0,08
D	0,5	0,4	1,1	1,1	1,0	0,82 $\pm$ 0,15
Sig						0,6
CV (%)						15,4

### 3.3.4 Producción de sedimento (kg/m<sup>3</sup>)

En la tabla 3.3.4 se puede apreciar que el tratamiento D fue el de mayores pérdidas de suelo por escorrentía superando en 14,5 veces al C que fue el de menor pérdida. Existen diferencias significativas entre este tratamiento y el resto bajo las mismas condiciones y tamaño de muestra. Las pérdidas en los tratamientos A y B aunque poseen niveles mayores que los alcanzados por el C 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 3.3.4. Producción de sedimento Kg/m<sup>3</sup>. (media  $\pm$  desviación estándar)

Tratamientos	Riegos					Medias $\pm$ S
	1	2	3	4	5	
A	0,35	0,39	0,53	0,05	0,17	0,3 $\pm$ 0,08
B	0,05	0,05	0,25	0,05	0,09	0,1 $\pm$ 0,04
C	0,04	0,03	0,03	0,09	0,01	0,04 $\pm$ 0,01
D	0,03	0,04	1,00	1,08	0,74	0,58 $\pm$ 0,23
Sig						0,0297
CV (%)						0,49

La figura 13 ilustra el promedio de sedimento que se pierde en cada riego. Donde se destaca el tratamiento C con pérdidas promedio 6,22 veces menores que las del tratamiento D lo que demuestra que la propuesta de riego por surcos con caudales de tiempos “on” de diez minutos reduce las pérdidas de suelo por lixiviación frontal y las arcillas dispersas en el surco.

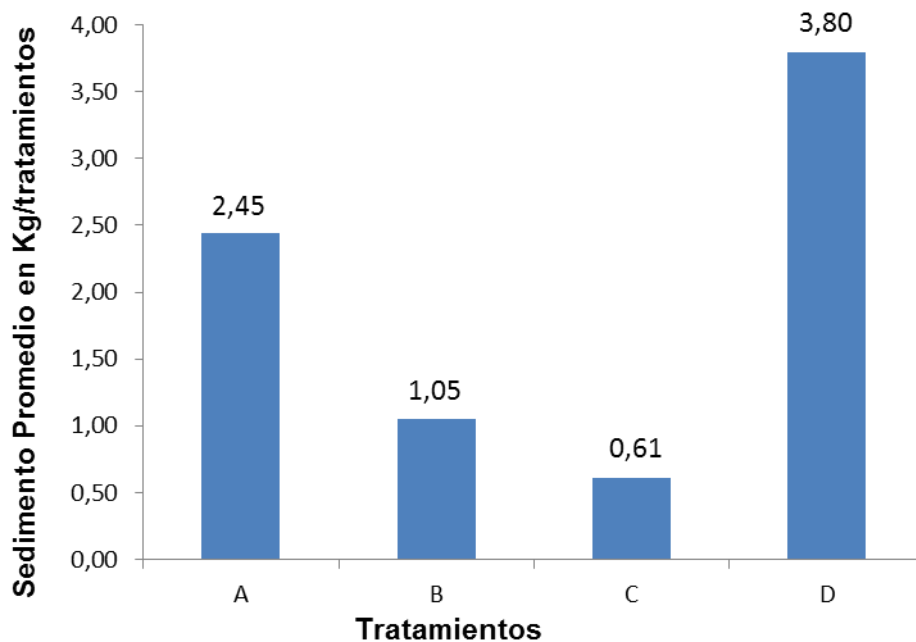


Figura 13: Cantidad de sedimento perdido por cada norma de riego aplicada a cada tratamiento. *Fuente: Elaboración propia*

El rendimiento del riego en el lugar donde se realizó la investigación puede incrementarse a partir de la implementación del riego por surcos con caudales intermitentes, específicamente con pulsos de diez minutos de tiempo “on” lo que implica disminuir los niveles de sedimentación en el fondo del surco hasta un 83,9 % con respecto al método tradicional que se utiliza en la zona por más de 35 años de explotación. Estos valores son superiores a los reportados (Playán, Lecina, Isidoro, Dechmi, & Causapé, 2005); (Smith, Gillies, Shanahan, & Campbell, 2009) y (Schilardi & Morábito, 2009). Con sistemas de riego superficiales tecnificados (*Surge Flow*) en Australia y en cuenca del río Tunuyán Superior en Argentina y similares a los obtenidos por (Rodríguez, 2013)

## 4 Conclusiones

1. Las propiedades hidrofísicas del suelo corresponden a las necesidades del cultivo, el método de riego por surcos con caudal intermitente, aunque por encima del gasto de diseño, disminuye las consecuencias de aplicar caudales máximos no erosivos con respecto al método tradicional aplicado en la zona.
2. El riego por surcos con caudal intermitente presentó mejores resultado que el método tradicional, destacándose el tratamiento C en la mayoría de los aspectos observados, apreciándose una estrecha relación decreciente entre el tiempo de entrega de agua al surco y la lámina total aplicada así como la eficiencia de aplicación.
3. En la dinámica del perfil del surco los tratamientos de menores tiempo de entrega 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, coincidiendo proporcionalmente con la mayor producción de sedimento.

## **5 Recomendaciones**

1. Debe realizarse posteriores trabajo para determinar mejores caudales de entrega del agua que disminuyan las pérdidas del recurso agua y suelo.
2. 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. 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*.
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., & y Poole, G. J. (1981). "Furrow advance rate under surge 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 Avila: 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 Investigac San Luís Potosí , México.
9. Deckers, J. O. (1998). Base referencial mundial del recurso suelo. *Informes sobre recursos mundiales de suelos 84. IISC, ISRIC, FAO. 90 p.*
10. 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.
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. Essafi, B. (1983). Recursive volume balance model for surge flow irrigation. *Tesis de Maestría*. Utha, EEUU.
13. Fuentes, F., Abreu, E., Fernández, E., & Castellanos, M. (1999). Experimentación agrícola. *2da Ed.* La Habana, Cuba.
14. García, E., & Fontova, M. (1998). Ingeniería de Riego. *1ra ed.* Centro de Investigaciones Hidráulicas Instituto Superior Politécnico "José A. Echevarría". La Habana, Cuba.
15. García, J., Dehoguez, E., & Tzenova, L. (1996). El riego. *1ra ed.* La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
16. García, M. (20 de 5 de 2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay. Montevideo, Uruguay.
17. Gonzáles, P. (2008). Introducción al riego y drenaje. La Habana, Cuba.
18. Henggeler, C. J., & Wayne, K. C. (1985). 14. Henggeler, "Surge flow irrigation." (Boletín) Texas Agricultural Extension Service. United States. Texas, EEUU.
19. 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.
20. 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.
21. Israelsen, O. y. (1965). ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. Principios y Aplicaciones del Riego. Barcelona, España.
22. Jurriens, M., Zerihum, D., & Boonstra, J. y. (2001). 17. JURRIËNS, M.; ZERIHUM, D.; BOONSTRA, J. y FEYEN, F. Surf operation and evaluation of basin, border and furrow irrigation with SURDEV computer pachage. Netherlands.
23. Kirilova, I. y. (1986). Hidromelioraciones de Riego. La Habana, Cuba.
24. León, A. (2002). Hidrometría de las conducciones libres y forzadas. *1ra ed.* La Habana, Cuba.
25. 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.
26. 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.
  27. Pacheco, e. a. (2006). Riego y Drenaje. La Habana, Cuba.
  28. Pérez. (1995). "Metodología para la evaluación del riego por surcos. *Centro Nacional de Capacitación Azucarera.* Ciudad de la Habana, Ciudad de la Habana, Cuba.
  29. Pérez, R. y. (2008). El Riego Superficial. La Habana, Cuba.
  30. 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.
  31. Reyen, 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.
  32. 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.
  33. 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.
  34. 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.
  35. 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.
  36. 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. 33. *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.
  37. Romay, C. (2004). Riego por pulsos Optimización de la eficiencia de riego.



38. Roqué, C. (10 de Marzo de 2009). Caudal discontinuo, la última vanguardia en la técnica del riego. Argentina.
39. Roqué, G. (1996). "Riego por caudal intermitente. Surge una eficiente variación de los sistemas por gravedad.". Agricultura de Las Americas.
40. 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.
41. 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.
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. 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.
44. 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.
45. Smith, R., Gillies, M., Shanahan, M., & Campbell, B. y. (18 -21 de Oct de 2009). Evaluating the Performance of Bay Irrigation in the GMID. . *Irrigation Australia Ltd, Swan Hill, Vic, Australia*. Swan Hill, Auatralia.
46. Survey, S. S. (2003). USDA. *Second Edition, 890 p.*
47. Testezlaf, R., Elliott, R. E., & y Garton, J. (1987). "Furrow infiltration under surge flow irrigation." *Transaction of the ASAE* 30 (1. Estados Unidos.

## Opinión del tutor