



UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS

“JOSÉ MARTÍ PÉREZ”

DEPARTAMENTO AGROPECUARIO

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Comportamiento de los parámetros infiltración y uniformidad de distribución del riego con intermitencia en suelos Pardos Sialítico Carbonatado.

AUTOR: Maykol Zabalo Companioni.

TUTOR: MSc. Rubén A. Viera Marín.

Santis Spíritus. 2015

“Cada idea nos conduce siempre a otra nueva y ésta a otras y otras. Una idea nueva, por buena que parezca debe ser sometida a pruebas y experimentos serios en condiciones reales”

Fidel Castro Rus

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, por su contribución, entendimiento y apoyo. Especialmente a mis queridos abuelos Aida, Anselmo y Nelda también a mis padres: Oraida y Orlando, quienes supieron conducirme y ayudarme no solo por las virtudes sino también por las críticas en el momento oportuno.

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

Agradezco también a los profesores de la Facultad de Agronomía de Montañas del Escambray y de la Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez” que en su momento supieron ayudarme y guiarme por los caminos del saber.

A todos

Muchas gracias

Dedicatoria

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

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

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

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

Muchas gracias

A todos

Resumen

La investigación fue realizada en la finca de un agricultor pequeño en la localidad el "6", ubicada en la zona perimetral Norte de la ciudad de Jatibonico, a una distancia de 30 Km de la cabecera provincial de Sancti Spíritus. En un suelo Pardo Sialítico Carbonatado, en cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), se presentan los resultados investigativos correspondientes al riego de caudal intermitente, con el empleo un diseño de parcelas en franjas para tres tratamientos con periodos de 10, 15 y 20 minutos para un tiempo "on". Se determinó los parámetros tiempo de riego, infiltración (Z) y uniformidad de distribución (UD), en cinco eventos de riego. Los tratamientos donde se utilizó el riego intermitente mejora los parámetros técnicos y como consecuencia, se pueden reducir hasta: el tiempo de avance en 3,26 veces, la variabilidad entre la lámina infiltrada del último cuarto es un 21,92 % menor con respecto a la inicial, el tiempo de aplicación se reduce 2,4 veces con respecto al método tradicional. Se alcanzó una UD media de 81,36%, un tiempo de oportunidad en último tercio del surco 1,33 veces más, en comparación con los resultados alcanzados con el riego continuo. Se demostró que el tratamiento A con el mayor tiempo "on" es el de mejores parámetros en el riego intermitente sobre este tipo de suelo, esto radica en una mejora del patrón de humedecimiento y el incremento de la UD. Se demuestran la ventaja que representa la utilización práctica de esta tecnología desde el punto de vista de la influencia que ejerce al suelo.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the property of a small agriculturist in the location the "6", located in the north area of look after it Jatibonico, to a distance of 30 km of the Sancti Spíritus provincial head. In a Brown Earth Carbonated Sialítico, in cultivation of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), present the investigative results correspondents to the irrigation of intermittent wealth, with the employed a design of plots in fringes for three treatments with periods 10.15 and 20-minutes for a "on" time. Decided the time parameters of irrigation, infiltration (z) and uniformity of distribution (UD), in five happenings of irrigation. The treatments in which it is used the intermittent irrigation improvement the technical parameters and as consequence, can reduce to him until: the time of advance in 3.26 times, the variability between the undermined laminae of the last one fourth is a 21.92 % smaller with respect to the initial, the time of application 2.4 times is reduced with respect to the traditional method. Reached to him an UD stocking of 81.36 %, a time of opportunity in last third of the 1.33 times furrow more, in comparison with the results reached with the endless irrigation. Demonstrated that the treatment to with the major "on" time is those of better parameters in the intermittent irrigation on this type of earth, this takes root in an improvement of the owner of humidification and the UD. Increments demonstrate the advantage that represents the practical use of this technology from the viewpoint of the influence it practices to the earth.

ÍNDICE

| CONTENIDO | PAG |
|--|------------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 1.1. Historia del riego | 5 |
| 1.2. Riego en Cuba | 6 |
| 1.3. Riego superficial | 7 |
| 1.3.1. Ventajas del sistema de riego superficial | 11 |
| 1.3.2. Desventajas del sistema de riego superficial | 12 |
| 1.4. Factores que intervienen en el diseño del riego por surco | 12 |
| 1.5. Fases del riego por surco | 14 |
| 1.5.1. Fase de avance | 14 |
| 1.5.2. Fase de almacenamiento | 14 |
| 1.5.3. Fase de consumo | 15 |
| 1.5.4. Fase de recesión | 15 |
| 1.6. Riego intermitente | 15 |
| 1.6.1. Ventajas del riego intermitente | 17 |
| 1.7. Relación del riego con las propiedades hidrofísicas del suelo | 18 |
| 1.8. Lámina infiltrada en el suelo | 19 |
| 1.8.1. Velocidad de infiltración del agua en el suelo | 19 |
| 1.8.2. Factores que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración | 20 |
| 1.8.3. Infiltración en el riego por surco | 20 |
| 1.9. Uniformidad de distribución | 21 |
| 2. Materiales y Métodos | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1. Indicadores a evaluar | 24 |
| 2.1.1. Propiedades hidrofísicas del suelo | 24 |
| 2.1.1.1. Densidad del suelo | 24 |
| 2.1.1.2. Capacidad de campo | 26 |
| 2.2. Evaluación de los parámetros de riego | 26 |
| 2.2.1. Tiempos de riego | 26 |
| 2.2.2. Velocidad de avance del frente de agua | 27 |
| 2.2.3. Modelo de infiltración de riego | 27 |
| 2.2.4. Uniformidad de distribución | 28 |
| 2.3. Procesamiento estadístico | 29 |
| 3. Resultados y Discusión | 30 |
| 3.1. Propiedades hidrofísicas del suelo en la unidad experimental | 30 |
| 3.2. Tiempos de riego | 31 |
| 3.3. Lámina media infiltrada | 37 |
| 3.4. Uniformidad de distribución | 40 |
| 4. Conclusiones | 43 |
| 5. Recomendaciones | 44 |
| 6. Bibliografía | 45 |

Introducción

En la mayoría de los países del mundo en vías de desarrollo, la agricultura es considerada como la principal fuente de riqueza, un aumento de la producción agrícola en estos países, es el principal requisito para acelerar el desarrollo rural y económico de las comunidades. (Escalona, 1998).

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos, al establecerse en un cultivo no solo se persigue la supervivencia de este, si no que se pretende que propicie rendimientos elevados (Santana, 2007). Este autor además plantea que el riego se hace necesario entonces para mantener el agua del suelo a niveles óptimos en la zona radical de las plantas. Este medio aunque es utilizado solo en un 20% de la tierra cultivada garantiza el 80% de la producción mundial.

Las civilizaciones han sido dependientes del desarrollo de la agricultura bajo riego, para proveer la base agrícola de una sociedad y aumentar la seguridad de la alimentación. Asimismo, la justicia y equidad en la asignación de los recursos de agua para el riego entre los diferentes usuarios. Debido a que la agricultura por irrigación consume en la actualidad la mayor parte del suministro de agua de buena calidad (en una cantidad estimada entre el 60 y el 80 por ciento), la búsqueda de nuevas formas de producir más alimentos con menos cantidad de agua ofrece una respuesta al problema de la escasez del agua. Según criterios de autores como (González, 2008). Los métodos por escurrimiento superficial se usan en más del 85 % de las tierras regadías del mundo (± 300 millones ha), en todo tipo de cultivos y en la mayoría de los suelos y de las condiciones topográficas. El 15 % restante se divide en 10% para aspersión y el resto para riego por goteo. El riego por escurrimiento superficial es particularmente apropiado cuando se cuenta con: buena disponibilidad de agua, pendientes uniformes (comprendidas entre el 0% y 1%), suelos profundos, de texturas medias a finas y cultivos de raíz profunda.

Las principales ventajas de estos métodos son: costos de inversión medios (a menos que se requiera un gran movimiento de suelo), costos de operación y mantenimiento (O&M) también medios y bajos requerimientos de energía. Las desventajas son -en general- grandes pérdidas de agua, disminución del

espacio cultivable (red de riego: matriz, primaria, canales y acequias de riego y obras complementarias), necesidad de una adecuada nivelación del terreno y alto requerimiento de mano de obra especializada (regadores experimentados). En la República de Cuba el riego superficial ocupa alrededor del 45% del área beneficiada, se utilizan otros métodos 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 métodos más eficientes. Esta situación no es exclusiva 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 regadío a escala mundial necesitará solucionar los diversos problemas que afectan el rendimiento del agua, la energía y los cultivos agrícolas donde se aplica este método de riego. De aquí la importancia de incrementar su eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución (Brown, 2000 y Santana, 2007).

El riego superficial en Cuba ha estado afectado por múltiples problemas tales como: (1) baja calidad constructiva de los sistemas, (2) carencia de obras de medición y control indispensables para la distribución del agua, (3) falta de nivelación de los suelos que ocasiona una mala distribución del agua en la superficie de riego, (4) falta de mantenimiento en sentido general, (5) deficiencia en el diseño y operación de los sistemas y (6) carencia de un programa para la modernización del riego. Todo esto ha conllevado a que la eficiencia de aplicación y distribución del agua en el surco sea muy baja. Es evidente que ante este hecho se tenga que contemplar la posibilidad de introducir cambios que impliquen un mejoramiento de este método de riego (Brown, Abreu, Rodríguez, & Concepción, 1999).

Una vía eficiente para el mejoramiento del riego superficial es sin dudas la aplicación del riego intermitente. Este nuevo método de riego superficial 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, & Poole, 1981).

La técnica del riego intermitente está siendo crecientemente utilizada en diversos países dados las mejoras que aporta, según se ha comprobado en diferentes estudios, enfocados fundamentalmente al riego por surcos. Un riego intermitente consiste en la aplicación intermitente de agua, originándose como consecuencia periodos alternados de humectación y de secado sobre la superficie regada. A cada una de esas aplicaciones que se realiza intermitentemente se le denomina pulso. Los periodos de humectación o secado pueden ser de duración constante o variable, intentándose siempre que se produzca un receso completo entre una aplicación y la siguiente. En la mayoría de los casos, el agua es aplicada alternativamente entre dos parcelas contiguas hasta que el riego se completa en ambas, .El efecto positivo del riego a pulsos se explica por la reducción en la velocidad de infiltración, (Monserrat, 1997) siendo esta, además de uno de los componentes principales del ciclo hidrológico, el motor de la vida para la mayor parte de los organismos que habitan en un ecosistema terrestre, que se consigue con la alternancia sobre un suelo de periodos de humectación y de secado. Esta reducción en la velocidad de infiltración se traduce en una mayor cantidad de agua dispuesta sobre la superficie del suelo, lo que hace que el avance sea más rápido. Al ser el avance más rápido y ser menor la diferencia entre los tiempos de contacto agua-suelo que se dan entre los extremos aguas arriba y aguas abajo de la parcela, aumenta la uniformidad. Además, como disminuye la infiltración, las pérdidas por percolación pueden controlarse mejor, lo que podría traducirse en un aumento de la eficiencia de la aplicación.

Situación problemática:

El riego es unas de las principales limitantes que influyen en la producción de los cultivos, tanto por su eficiencia como por complejidad tecnológica la cual no se encuentra a disposición de los productores, siendo una de las labores culturales que más afectación trae consigo a la productividad de los suelos.

Aun es deficitario el conocimiento científico en cuanto a los parámetros principales de diseño del riego superficial por pulso, tanto para profesionales como para productores agrícolas que demandan de esta actividad.

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

Problema científico:

¿El criterio de manejo de tiempos variables influye en la infiltración y uniformidad del riego intermitente en suelo Pardo Sialítico Carbonatado?

Objetivo general:

Evaluar el comportamiento de los parámetros tiempos de riegos, infiltración y uniformidad de distribución del riego con intermitencia, a diferentes tiempos de aplicación, sobre la base de aumentar la eficiencia del uso del recurso agua en suelo Pardo Sialítico Carbonatado.

Hipótesis

Si obtenemos los valores en campo de parámetros del diseño de riego como los tiempo de riego, la infiltración media del surco, la uniformidad de distribución entre otros, entonces estaremos en condiciones de determinar cuáles de los tiempos de entrega del caudal en el inicio del surco es el que permite un mejor uso del recurso agua y tiempo.

1. Revisión Bibliográfica.

1.1 Historia del riego.

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

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

cultivos básicos de su alimentación en forma segura; el sistema en sí combina el conocimiento del riego subterráneo con la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo), (Cisnero R. , 2003)

El intelecto humano evoluciona a la par del desarrollo científico mundial con relación al riego, los primeros sistemas que se utilizaron en el mundo para llevar el agua a la planta fueron los superficiales, desde la época del gran Egipto y la China de los canjilones hidráulicos. Isaac Asimov y Frank White en su libro *“El paso de los milenios”*, citan un comienzo de la agricultura bajo riego en las civilizaciones que se asentaron en el valle del Tigris - Eufrates. Al presente, durante 9000 años, pocas mejoras tecnológicas fueron introducidas para aumentar la eficiencia del sistema hasta el comienzo de la década de los 80 que empieza a difundirse esta técnica (Roqué, 2009).

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

1.2 Riego en Cuba.

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. En 1909 surge el primer intento oficial de riego con la creación de la comisión de irrigación que efectuaría estudios sobre el tema, solo en la provincia de Pinar del Río, en 1932 la secretaria de agricultura crea la dirección de negocios del agua y el riego, limitadas a consultas de particulares, en 1937 se crea la comisión consultiva del riego

que se encargaría de estudiar los ríos más importantes de la Isla para el riego, en 1941 se someten a consideración los trece primeros proyectos de riego para igual número de ríos del país, de los cuales solo vio luz el del río Buey en Oriente, pero al final la obra no se construyó. A partir de 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 & Pavón, 1986).

1.3 Riego superficial

El riego superficial, como su nombre indica, hace alusión al agua que fluye sobre la superficie del terreno desde su parte más alta y fluye hacia los puntos más bajos gracias a la pendiente (topografía) por efecto de la gravedad, disminuye en cantidad o volumen a medida que se infiltra en el suelo, (Delgadillo, 2000).

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

Los surcos funcionan de la misma manera que los canales, hidráulicamente; la diferencia fundamental estriba en que, mientras en éstos se intenta conducir el máximo caudal posible a distancias considerables con la mínima pérdida por infiltración, en los surcos, precisamente lo que se intenta es hacer que en cortos recorridos se infiltre el agua que se conduce. En los canales, se desprecian las pérdidas por infiltración y evaporación, puede decirse que el caudal se mantiene constante en toda su longitud; mientras que en el surco el

caudal es variable, decreciente, a medida que aumenta la distancia. Ello plantea especiales y complejos problemas que dificultan en parte la aplicación de los conceptos de mecánica de los fluidos, por lo que deben recurrir a ellos incluso, para el diseño a ensayos en el terreno. Los esfuerzos por alcanzar altas eficiencias de aplicación en los sistemas de riego por surcos están limitados por la amplia variación espacial y temporal de las características de infiltración del suelo (Brown, 2000).

El riego superficial es el sistema más extendido en el mundo. La mayoría de las técnicas que conforman este método son fruto de la experiencia local y de procesos de ensayo. Este método a pesar de ser el primer sistema aplicado en el mundo fue el último en ser analizado de forma completa. La característica principal del riego superficial es que el agua se distribuye en el campo por gravedad, de modo que el caudal de riego disminuye a lo largo del campo debido a la infiltración del terreno. En la práctica es muy común que el suministro de agua en el surco no se suspende en el momento que el frente de avance alcanza el extremo final del surco, si no cierto tiempo después, (Brown, 2006)

El hecho de que la fuerza de la gravedad realice la distribución del agua hace que no sea necesario disponer de complejas estructuras de distribución de agua que cubre la parcela a regar, causa por la que el riego superficial 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 (Pérez y Cid, 2008).

El riego superficial no depende de grandes operadores, de altos insumos y consumo de energía, por lo que es usado internacionalmente. A pesar de esas ventajas, esta forma de riego ha tenido muchos detractores en Cuba, debido a la baja eficiencia en su aplicación. Por ello, hubo un desarrollo impetuoso del riego por aspersión y de las máquinas de riego. Las limitaciones en el consumo de energía en los últimos años, han provocado la revalorización del riego superficial en el país, esta tecnología ocupa alrededor del 45% de las áreas bajo riego, aunque la mayor parte de las mismas están ocupadas por el cultivo

del arroz (*Oryza sativa* L.), caracterizados por su baja eficiencia, debido a que se obvian principios indispensables en el proyecto que faciliten un eficiente manejo del agua por el regador (Pacheco, Alonzo, Pujol, & Camejo, 2006).

En toda área bajo riego existen factores como las características del suelo, la pendiente, el tamaño del área, el manejo del agua por el regante, etc, que dan lugar a pérdidas de agua y desperdicios que afectan la eficiencia del riego. La eficiencia de aplicación de agua está relacionada con la cantidad de agua que debe suministrarse 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 la relación entre la lámina de agua almacenada en la zona radicular y la lámina de agua derivada, representada ésta por la sumatoria de la lámina neta, escurrida y percolada según (Isrraelsen & Hansen, 1965). La eficiencia de aplicación se ve así afectada por las pérdidas por escurrimiento y percolación profunda. Una ventaja añadida del riego por superficie es que usa tecnología local, por lo que en países en vías de desarrollo no plantea problemas de suministro de materiales o recambios, ni de mantenimiento.

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. Según (Camejo, 2000) la aplicación de métodos tradicionales de gravedad con diseños y ejecución deficiente, conllevan a una pobre utilización de los recursos humanos y naturales.

Este sistema no se recomienda para grandes pendientes, trazar los surcos paralelamente a la línea de máxima pendiente, para evitar el inconveniente que acarrea y el desbordamiento por encima de su lomo. Aunque por regla general, los grandes sistemas de riego por surcos en el mundo y en Cuba, han tendido

a empeorar las propiedades físicas del suelo o han salinizado grandes extensiones de tierras, debido a un incorrecto diseño por no considerar todos los elementos que intervienen en el mismo. En esta técnica la pendiente debe ser entre 2-30 / 1 000 con un gasto de (0,5 - 4 l/s) aproximadamente, la velocidad del agua es de (0,1-0,25 m/s). Los surcos deben tener de 30 m o menos incluso en jardines, hasta 400 m como máximo lo óptimo es 90 -150 m y el agua correr concentradamente. Al emplear surcos demasiado largos se producen pérdidas excesivas por percolación profunda y erosión en sus cabeceras. Esta técnica requiere de una zanja de drenaje en la parte inferior del campo (Rodríguez & Santana, 2003) y (Pacheco, Alonzo, Pujol, & Camejo, 2006).

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 aereación aún durante riegos de elevada duración (González, 2008). 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.

La técnica de riego por surcos dentro del riego superficial es la que más se ha expandido y considerada la más universalmente utilizada en los cultivos agrícolas, por lograrse la mayor eficiencia en el uso del agua, y se utiliza en cultivos en hilera, este método se adapta a terrenos con variaciones grandes de pendiente. Es costumbre, aunque no se aconseja para grandes pendientes, trazar los surcos paralelamente a la línea de máxima pendiente, para evitar el inconveniente que acarrea y el desbordamiento por encima de su lomo.

Aunque por regla general, los grandes sistemas de riego por surcos en el mundo y en Cuba, han tendido a empeorar las propiedades físicas del suelo o han salinizado grandes extensiones de tierras, debido a un incorrecto diseño por no considerar todos los elementos que intervienen en el mismo. En esta técnica la pendiente debe ser entre 2-30/1000 con un gasto de (0.5 - 4 L/s) aproximadamente, la velocidad del agua es de (0.1-0.25 m/s). Los surcos deben tener de 30 m o menos incluso en jardines, hasta 400 m como máximo

lo óptimo es 90 -150 m y el agua correr concentradamente. Al emplear surcos demasiado largos se producen pérdidas excesivas por percolación profunda y erosión en sus cabeceras. Esta técnica requiere de una zanja de drenaje en la parte inferior del campo. Eficiencia de 25-90% (Rodríguez & Santana, 2003) y (Pacheco, Alonzo, Pujol, & Camejo, 2006).

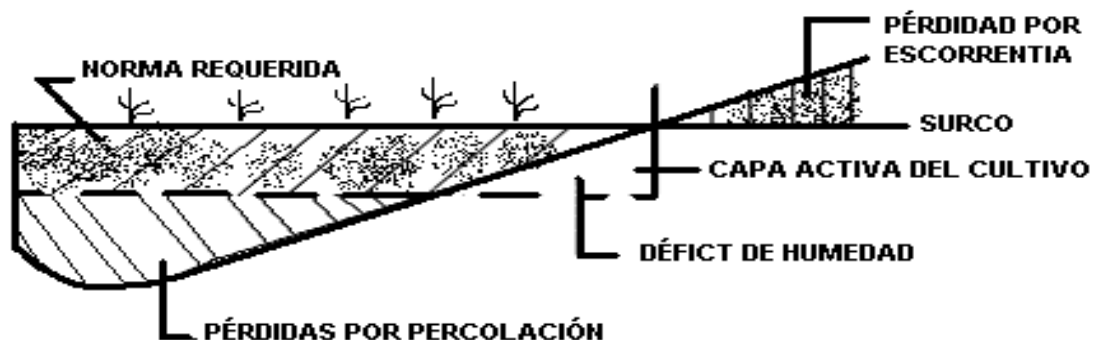


Figura 1.1 Patrón de humedecimiento típica del riego continuo. *Fuente: Rodríguez & Santana, (2003)*

Un riego de superficie que opere de manera idónea debe tener un equilibrio entre los procesos de avance e infiltración para que la lámina infiltrada en cada punto del surco sea similar, todas las plantas de la parcela dispongan de aproximadamente la misma cantidad de agua, y esta cantidad de agua coincida con las necesidades de las plantas. Obviamente, (Barreiro, 2000), plantea que la aplicación de métodos tradicionales de gravedad con diseños y ejecución deficientes, conllevan a una pobre utilización de los recursos humanos y naturales, sin embargo el riego por surcos tiene el aval de un número importante de ventajas que lo acreditan como la técnica más difundida:

1.3.1 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

1.3.2 Desventajas del sistema de riego superficial

- Requieren de trabajos sistemáticos de mantenimiento de obras y canales.
- Requieren de mayor fuerza de trabajo
- Presentan bajas eficiencias de transporte, distribución (en las redes de riego) y de aplicación (en las parcelas).
- Precisa de buenos trabajos de nivelación de tierras.
- No permiten riegos ligeros ni frecuentes

Por tanto, es necesario mejorar la eficiencia del uso del agua de los pequeños agricultores mediante el fomento de la difusión y adopción de cambios tecnológicos sostenibles, como la tecnificación de un sistema de riego superficial con 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, Alonzo, & Delgado, 2011).

1.4 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 (Jurriëns, Zerihun, Boonstra, & Feyen, 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, 1999).

Como parámetros del sistema podemos considerar a: lámina de riego a aplicar (yt), 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, & Vallone, 2009).

Sobre la base de los resultados de numerosas investigaciones, diversos autores han propuesto metodología para determinación de los elementos técnicos del riego por surco. Según (García & Fontova, 1998) y (Pacheco, Alonzo, Pujol, & Camejo, 2006) hay varios factores que afectan la cantidad de agua que infiltra en el suelo, su uniformidad de distribución a lo largo del surco y las pérdidas de agua por escurrimiento al final del surco y percolación por debajo de la zona radical del cultivo:

Pendiente longitudinal del surco (S): es la relación entre el desnivel de la entrada y salida del surco y su longitud. La topografía del terreno juega un papel importante para la actividad del riego. El método de riego superficial requiere de terrenos llanos, pero pendientes muy pequeñas o relativamente altas, resultan difíciles. Las pendientes pueden oscilar de 0,03 al 1%. Las recomendaciones son de 0,1 a 0,5% y la ideal de 0,2%. Existe una relación entre la pendiente con el gasto, tiempo de avance longitud de surco y la eficiencia de aplicación. Para un mismo gasto al aumentar la pendiente aumenta la velocidad del agua lo que puede tener como consecuencia la erosión. Por otra parte disminuye el perímetro mojado y disminuye la capacidad de infiltración. El aumento de velocidad disminuye el tiempo de avance para una longitud determinada. Como resulta obvio, la red de riego y la dirección correcta de los surcos, se construyen sobre la base de este criterio según (Cisnero R. , 2003) y (Pérez & Cid, 2008).

Espaciamiento entre surcos (W): es la distancia entre los ejes de los surcos. Su valor está determinado por el espaciamiento entre hileras de cultivo, tipo de

suelo y de los implementos agrícolas disponibles para el trazado de los surcos. La distancia entre los surcos depende del tipo de suelo; en suelos arcillosos el agua se mueve más en sentido lateral que en profundidad, por lo que la distancia entre surcos puede ser mayor que en los suelos arenosos, además del suelo, las recomendaciones de distancia de siembra del cultivo.

Forma y dimensiones: la forma del surco depende de la pendiente, cultivo, característica de infiltración, estabilidad y gasto a conducir. Las formas más comunes son: triangular, trapecial y parabólica. Desde el punto de vista constructivo la primera es la más fácil de realizar. Las dimensiones de la sección transversal del surco son de gran importancia para cumplir sus funciones en diferentes condiciones de pendiente, suelos, gastos y cultivos a beneficiar.

1.5. 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 (Mujica, 1997).

1.5.1 Fase de avance

Acorde con (Strelkoff, 1977) la fase de avance comienza cuando el agua se introduce en el extremo superior del surco y el frente de humedecimiento se mueve aguas abajo del mismo hasta que alcanza su extremo inferior.

Esta fase es la que presenta mayor interés porque es la responsable de la desuniformidad en la distribución del agua infiltrada en la sección final del surco (Elliot, Walker, & Skogerboe, 1982). Citado por Brown (2000).

1.5.2 Fase de Almacenamiento

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

surco. (Rodríguez M. , 2014).

1.5.3 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, (Brown, 2000).

1.5.4 Fase de recesión

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

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

1.6 Riego intermitente

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

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. La explicación del fenómeno del riego intermitente se debe a que entre un pulso y otro se produce un disgregamiento de terrones, un reacomodamiento de partículas y una migración de sedimentos que sellan la base del surco. Por otra parte al haber una interrupción de suministro de agua queda aire atrapado en los poros del suelo (Carbajal & Carlos, 2004).

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

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

superficie del suelo, consiguiendo que el flujo circule con rapidez y se consiga un avance mayor y una mejor uniformidad en el riego. La causa de la reducción entre los tiempos de contacto entre la cabeza del surco y la cola, logrando una distribución más uniforme del agua gracias al riego por impulsos no se conoce con exactitud, pero parece que tiene que ver con la dispersión de los agregados del suelo; cuando cesa el flujo del agua las partículas de arcilla continúan su expansión, disminuyendo el tamaño de los poros; al mismo tiempo, las partículas más finas, generalmente limosas, arrastradas por la corriente del agua, tienden a depositarse sobre el fondo del surco, con lo que también disminuye la infiltración.

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

1.6.1 Algunas de las ventajas del riego intermitente:

- Se controla tanto el drenaje en profundidad en la cabecera del surco como al pie del mismo.
- Se “regula” la infiltración obteniendo una mayor eficiencia en el uso del agua (80 a 85%)
- El caudal discontinuo es la forma de regar que logra combinar eficiencia con economía.

En los últimos cincuenta años, el riego intermitente ha sido la única invención que ha revolucionado la técnica de riego por surco (Alcaide, 2005). Consiste en la aplicación discontinua del caudal de entrada en base a una relación determinada de tiempos con flujos y sin flujos dentro de un ciclo de intermitencias, hasta completar el riego. Un sistema de descargas intermitentes o cíclicas del agua administrada y suministrada por un dispositivo. En cualquiera de los dos casos, según nuestro criterio queda conceptualizado el riego por intermitencia.

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

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

1.7 Relación del riego con las propiedades hidrofísicas del suelo

El crecimiento y desarrollo de las plantas está necesariamente asociado a que se establezca un adecuado equilibrio entre los requerimientos que éstas poseen y las condiciones que su entorno edafoclimático puede ofrecerles. En

tanto el rango de las propiedades del suelo y clima de un lugar determinado se aparte de las condiciones límites, un mayor número de especies se adapta o podrá ser adaptado para crecer y desarrollarse. Entre las principales condiciones que el suelo, como constituyente del edafoclima, puede "ofrecer" para el crecimiento y desarrollo de las plantas, se encuentra su capacidad para el almacenamiento de agua. Exceptuando a las plantas que están naturalmente adaptadas o son forzadas a vivir en un ambiente hidropónico, la mayoría de ellas deben obtener el agua, como elemento fundamental de la vida, desde el suelo. La idea anterior, enfocada desde un punto de vista agrícola, hace necesario reconocer las relaciones que se establecen entre el agua y el suelo, donde y a través de qué mecanismos es almacenada, de qué factores depende el grado o nivel del almacenamiento, cómo es entregada a las plantas, cómo se mueve en el suelo y otros (Salgado, 2002).

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

1.8 Lámina infiltrada en el suelo

1.8.1 Velocidad de infiltración del agua en el suelo

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

El fenómeno ha sido descrito por distintos autores (Israelsen & Hansen, 1965) y hay varios modelos que intentan representarlo. No obstante la metodología más difundida y fácil de implementar, a pesar de sus limitaciones, es la del infiltrómetro de doble anillo, que permite aproximar -a campo- el valor de

infiltración básica del suelo y con ello obtener los valores de los parámetros de los otros modelos conocidos. Citado por (Morábito & Prieto, 2008).

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

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

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

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

1.8.3 Infiltración en el riego por surcos

Características de infiltración del suelo: La infiltración del agua en el suelo es un proceso físico que ha sido extensamente investigado debido a su importancia en la agricultura. Es el aspecto más complejo de la hidráulica del riego por surcos y uno de los factores más importante de cuantos intervienen en el diseño de los métodos de riego. El mayor impedimento para el

mejoramiento del diseño y operación de los sistemas de riego superficiales es la dificultad en la caracterización de la infiltración. Sí la infiltración pudiera predecirse con exactitud los sistemas de riego superficiales podrían ser diseñados y operados para el uso más eficiente del agua y la energía.

(Rodríguez M. , 2014).

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

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

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

1.9 Uniformidad de distribución

En la evaluación del riego por surco también es importante determinar la calidad con que ha sido realizado dicha labor. La literatura internacional

describe varios criterios para la evaluación. En esta investigación se hace referencia a la eficiencia de aplicación (EAP), uniformidad de distribución (UD) y pérdidas por escurrimiento superficial en el extremo final del surco por ser los más utilizados por la mayor parte de los investigadores. La uniformidad de distribución (Christiansen) expresa la relación entre el volumen de agua acumulado en la sección final del surco y el volumen total aplicado.

2. 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 un suelo Pardo Sialítico Carbonatado (Hernández *et al.*, 1999), que se puede correlacionar, según Hernández *et al.*, (2005) con el *Cambisol Cálxico* según *World Referente Base* (WRB) (Deckers *et al.*, 1998).

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%, con 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, Alonzo, & Delgado, 2011) y (Rodríguez M. , 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 *et al.*, (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 5 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:

➤ **Variante A:** Riego intermitente bajo criterio de manejo de tiempos variable, 20 minutos con riego y cuatro minutos sin riego.

- **Variante B:** Riego intermitente bajo criterio de manejo de tiempos variable, 15 minutos con riego y cuatro minutos sin riego.
- **Variante C:** Riego intermitente bajo criterio de manejo de tiempos variable, 10 minutos con riego y cuatro minutos sin riego.
- **Variante D:** Se realiza la actividad del riego superficial según las costumbres y los caudales utilizados por los campesinos en la zona.

2.1 INDICADORES A EVALUAR:

2.1.1 Propiedades hidrofísicas del suelo.

2.1.1.1 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 & Cid, 2008) y (Rodríguez M. , 2014).

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

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

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

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

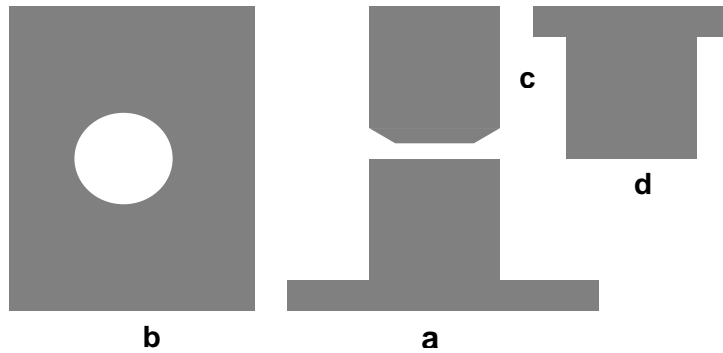
Tabla: 2.1 Escala de la evaluación de la densidad aparente

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

Fuente: Martín y Durán, 2008

Las muestras en el perfil fueron tomadas 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 cm³, 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 hasta que se estabilice el peso a 105 °C en la estufa.

La siguiente figura es una representación esquemática de los componentes fundamentales del dispositivo construido para la toma de muestras inalteradas de suelo, donde (a) es la vista lateral que representa la base del dispositivo (15.50 x 10.70 cm) con el cilindro guía (diámetro de 5.10 cm, altura de 4.50 cm), (b) la vista frontal, (c) el cilindro biselado para la toma de muestras inalteradas (diámetro 4.50 cm, altura 4.50 cm, espesor 0.50 cm) y (d) el cilindro de empuje (diámetro inferior 5.00 cm, diámetro superior 6.50 cm, altura de penetración 5.00 cm, altura total 6.20 cm).



2.1.1.2 Capacidad de campo

Según (Pérez & Cid 2008) citado por (Rodríguez M. , 2014), la Capacidad de campo (C_c) 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”. Estas se determinaron en el área experimental, mediante la saturación del suelo con agua, por un periodo de 24 horas. Posteriormente transcurridas las 48 a 72 horas se procedió a la toma de muestras con una barrena de tipo tirabuzón, tomándose muestras cada 10 cm en una profundidad de 40 cm. Se realizaron tomas de suelos hasta encontrar una estabilidad en el volumen de humedad mediante un secado en estufa a 105 grados por un periodo de 24 horas, todas la muestras se pesaron en una balanza digital (*Santorius Max* 6200 g d=0,01g) Esta propiedad se determinó por la ecuación [2.3] propuesta por (Santana, 2007) y utilizada por (Rodríguez M. , 2014).

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

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 Tiempos de riego

Los parámetros del riego por superficie determinados en esta investigación fueron: tiempo de avance (t_{av}), tiempo de aplicación (t_a), tiempo de recesión (t_r) y tiempo de oportunidad (t_o). Previamente se obtuvo la pendiente de riego a partir de la toma de niveles longitudinales en la unidad experimental con la utilización de un nivel compensador (NI- 040-A) alemán y una regla plegable invertida de tres metros.

Para determinar el avance del frente de agua sobre la superficie, se dividió la distancia del surco en 10 partes iguales y en cada una de ellas se colocó una estaca (cada cinco metros) indicadora de esta estación. Una vez iniciado el riego se registró el tiempo de avance del flujo de agua en las distintas estaciones espaciadas sobre la longitud total del surco. Esta operación se realizó en el área efectiva (cinco surcos) en cada tratamiento. El instrumento utilizado para la medición del tiempo fue un cronómetro digital modelo Casio con una precisión de milésimas de segundos.

2.2.2 Velocidad de avance del frente de agua

Se obtuvo analíticamente el cociente entre la longitud del surco y el tiempo de avance no obstante se comparó con la velocidad máxima permisible ($V_{m\acute{a}x}$) para este tipo de suelo, determinada con la ecuación de Mannign citada por (García & Fontova, 1998) y (Morábito J. , 2005).

2.2.3 Modelo de Infiltración en el riego

Se determinó el contenido de humedad presente en el suelo en el momento de las pruebas realizadas, el que corresponde con el momento de riego, por el método gravimétrico y luego transformado a humedad volumétrica a partir de la medición de la humedad gravimétrica multiplicada por la densidad del suelo, sobre muestras de suelo extraídas en las cercanías de cada ensayo de infiltración según propone (Cid, 2006) y (Radulovich, 2009). La lámina infiltrada acumulada en el surco se determinó mediante la ecuación de Kostiakov [2.4] y Kostiakov – Lewis [2.5].

$$I = a.t^b \quad [2.4]$$

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

$$Z = k.t^a + f_o t \quad [2.5]$$

Donde: Z: Lámina infiltrada acumulada; [k]: Coeficiente de ajuste; [a]: Exponente de la función de infiltración; [f_o]: Velocidad de infiltración estabilizada [t]: Tiempo de oportunidad de infiltración de la lámina de riego.

Los parámetros [k, a y fo] se estiman a partir del método de balance de volumen aplicado en dos puntos de la longitud del surco durante la fase de avance.

2.2.4 Uniformidad de distribución

En la evaluación del riego por surco también es importante determinar la calidad con que ha sido realizado dicha labor. La literatura internacional describe varios criterios para la evaluación. En esta investigación se hace referencia a la eficiencia de aplicación (EAP), uniformidad de distribución (UD) y pérdidas por escurrimiento superficial en el extremo final del surco por ser los más utilizados por la mayor parte de los investigadores. La uniformidad de distribución (*Christiansen*) expresa la relación entre al volumen de agua acumulado en la sección final del surco y el volumen total aplicado. Para su determinación se utilizó la expresión [2.6, 2.7, 2.8, 2.9] propuestas por (Brown, 2000) y (Santana, 2007) estos modelos matemáticos expresa la relación entre al volumen de agua acumulado en la sección final del surco y el volumen total aplicado.

$$UD_{(Total)} = \frac{Z_f}{Z_m} 100 \quad [2.6]$$

$$UD_{(qi)} = \frac{Z_{qi}}{Z_m} 100 \quad [2.7]$$

Siendo

$$Z_m = \frac{Z_i + Z_f}{2} \quad [2.8]$$

y

$$Z_{qi} = \frac{Z_{35} + Z_{50}}{2} \quad [2.9]$$

Dónde: UD(Total): uniformidad de distribución en unitaria en el surco (%); UD(qi): uniformidad de distribución en el cuarto final del surco (%); Zi: infiltración acumulada en el inicio del surco (cm); Zf: infiltración acumulada al final del surco (cm); Zm: infiltración acumulada media (cm); Zqi: infiltración acumulada en el cuarto final del surco (cm); Z35 y Z50 (cm): infiltración acumulada en los puntos de lectura a los 35 y 50 m en el surco.

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.

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 perfil del suelo en la unidad experimental

Para determinar las propiedades hidrofísicas del perfil del suelo se determinaron parámetros como la densidad (d_a) y capacidad de campo (cc), como podemos observar en la tabla (3.1), la Densidad aparente del suelo alcanzó valores entre 0,872 y 0,89 g/cm^3 desde los primeros 0.10m hasta los 0.40 m. Las muestras obtenidas se consideran muy bajas en la escala de evaluación de la densidad aparente propuesta por (Martín y Durán, 2008). Los valores de Capacidad de campo ($Cc \%$), tomados también a la profundidad de 0,10m hasta 0,40m se mantuvieron de 39,06 a 46,90%. Podemos darnos cuenta como a medida que aumenta la Capacidad de campo disminuye la Densidad aparente del suelo, debido esto al tipo de suelo y su estructura compacta a medida que aumenta la profundidad, lo cual se puede explicar a través de la relación existente entre el contenido de humedad del suelo y su densidad

A pesar de esto los valores de Capacidad de campo son adecuados para este tipo de suelo al compararse con lo que informa (Delgado, 2011) donde plantean que el mayor por ciento de raíces se localizan en los primeros 0,40 m de profundidad y que estas raíces son las responsables de extraer la mayor cantidad de agua que requiere la planta. Bajo este comportamiento el agua disponible y fácilmente utilizable por el cultivo nos permite prolongar el intervalo de riego; y la baja Densidad aparente 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 y según (González, 2007) considera que con la disminución de la densidad del suelo, aumenta la porosidad total, el volumen ocupado por aire dentro del cual está presente el oxígeno, el estado energético de las células de las raíces que afecta su proceso respiratorio, el movimiento del agua en el suelo, los procesos

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

Tabla 3.1 Valores de capacidad de campo (Cc %) a las 72 horas

| Profundidad (cm) | PSH (g) | PSS (g) | Cc (%) | Densidad aparente del suelo (da) g/cm^3 |
|------------------|---------|---------|--------|---|
| 0 – 10 | 64,60 | 46,45 | 39,06 | 0,890 |
| 10 – 20 | 70,58 | 48,94 | 44,22 | 0,880 |
| 20 – 30 | 71,79 | 49,23 | 45,83 | 0,874 |
| 30 – 40 | 82,57 | 56,20 | 46,90 | 0,872 |

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

3.2. Tiempos de riego

En el epígrafe a continuación se mostraran las evaluaciones realizadas en el diseño del riego continuo e intermitente. Según Rosenfeld y Díaz (2005) afirman que buenas evaluaciones y diseños del riego por superficie conducen al uso eficiente del agua, los cuales han logrado ahorros del 50% del recurso hídrico aplicado a diferentes cultivos y garantizan la implementación confiable del riego intermitente a través de los ensayos de campo que han realizado, esto también es ratificado por Reyes y Pujol (2005).

Como se aprecia en la tabla 3.2 los tiempos de aplicación (t_a) de los tratamientos donde se utilizó el riego con caudal intermitente fueron significativamente menores que donde se utilizó el riego continuo. El tratamiento C con un tiempo “on” de 15 minutos y un tiempo “of” de cuatro minutos es el de menor tiempo de aplicación en comparación con el resto de los tratamientos, incluyendo al testigo el cual presenta riego continuo. El tratamiento C utiliza 2,4 veces menos tiempo que el tratamiento D, que representa el 41,65 % del tiempo de aplicación en testigo. En todos los tratamientos con excepción del testigo, la tendencia es a disminuir el tiempo de aplicación a medida en que aumenta el número de los riegos ejecutado. El

tratamiento C logra disminuir en 1.93 minutos el tiempo de aplicación en el último riego, en el caso de D, como se planteó anteriormente aumenta en 11 minutos el tiempo de aplicación en el último riego. Entre el tratamiento C y el D existen diferencias estadísticas significativas de 18,51 minuto utilizando el procedimiento de DUNCAN de comparaciones múltiples a un nivel de confianza de 95 %.

Tabla 3.2 Tiempo de aplicación (min) para cada tratamiento

| Tratamientos | número de riego | | | | | Media \pm S |
|--------------|-----------------|-------|-------|-------|------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| A | 23,33 | 23,26 | 22,39 | 24,12 | 23,2 | 23,26c \pm 0,28 |
| B | 18,41 | 17,3 | 18,18 | 18,1 | 17,5 | 17,90b \pm 0,21 |
| C | 14,23 | 13,12 | 13,4 | 13,02 | 12,3 | 13,21a \pm 0,31 |
| D | 25,15 | 31,14 | 34,04 | 35,09 | 33,2 | 31,72d \pm 1,77 |
| Sig | | | | | | 0,000 |
| CV % | | | | | | 4,24 |

Criterios de autores como (Carbajal & Carlos, 2004), (Nalvarte & Huachos, 2007), (Santana, 2007) y (Rodríguez M. , 2014) coinciden en que la reducción del tiempo de avance en los tratamientos con caudal intermitente se sustenta en una reducción de la permeabilidad del suelo, donde la principal causa es la consolidación del suelo mojado durante la interrupción del flujo, debido a un incremento en la tensión suelo-agua.

Lo resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con lo planteado anteriormente por otros autores como es el caso de (Rodríguez M. , 2014), este muestra resultados donde el riego con caudales intermitentes supera en 1,52 veces al riego con caudal constantes en cuanto al tiempo de aplicación. Echo que demuestra que a pesar de la variación del periodo de tiempo “on” en el riego intermitente, existe un mejor aprovechamiento del recurso tiempo con respecto al riego tradicional.

El tiempo de avance del riego es un parámetro el cual también tiene una gran importancia en el comportamiento de los parámetros técnicos del riego, este se observa para cada una de las estaciones en la tabla 3.3, donde podemos

observar los tiempos de avances promedio de cada riego por estaciones, nótese que en todo los caso el tiempo aumenta como es lógico pero las proporción de tiempo entre distancia no responde al mismo crecimiento entre los tratamientos. Los tratamientos A, B y C hasta la estación número siete presentan patrones de tiempos similares entre estaciones, no siendo así en el caso de D quien mantiene en todo el trayecto de las estaciones un patrón de aumento del tiempo, superando el patrón de las estaciones finales en nueve veces a las iniciales.

Tabla 3.3 Tiempo promedio de avance del agua durante el riego

| Tratamientos | Estaciones | | | | | | | | | |
|--------------|------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| A | 0,07 | 0,31 | 0,55 | 1,18 | 1,43 | 1,98 | 2,27 | 2,47 | 3,20 | 9,90 |
| B | 0,05 | 0,24 | 0,44 | 1,25 | 1,72 | 2,15 | 2,40 | 2,87 | 5,33 | 9,50 |
| C | 0,05 | 0,26 | 0,48 | 1,07 | 1,32 | 1,87 | 2,27 | 2,79 | 3,82 | 7,13 |
| D | 0,08 | 0,78 | 1,40 | 2,48 | 4,39 | 5,80 | 9,99 | 13,57 | 16,95 | 23,22 |

El tratamiento C avanza 3,26 veces más rápido que el tratamiento D, representando el 30,71 % lo que permite beneficiar más área por unidad de tiempo.

Los tratamientos donde se utilizaron el riego por surcos con caudal intermitente demostraron que se puede regar más área en la misma unidad de tiempo comparado con el riego continuo, lo que representa un indicador de eficiencia, ahorro de energía, agua. Resultados similares fueron obtenidos por Viera (2013).

Esta reducción del tiempo de avance en las variantes donde se utilizó el riego con caudal intermitente se sustenta en los criterios de (Carbajal & Carlos, 2004), (Nalvarte & Huachos, 2007), quienes demostraron que este efecto se origina por una reducción de la permeabilidad del suelo, siendo la principal causa de esta reducción la consolidación del suelo mojado durante la interrupción del flujo, debido a un incremento en la tensión suelo-agua. También puede ser ocasionada por la disminución de la rugosidad del surco y

una sección de surco más estable durante la infiltración de agua entre pulsos y la entrada y captura de aire que ocurre entre pulsos.

En la tabla 3.4 podemos analizar los tiempos de oportunidad, factor importante porque debe asegurar una lámina infiltrada en el último tercio del surco capaz de cubrir la capa activa (H) del cultivo, de cada riego por cada una de las estaciones de cada tratamiento, que según plantea Cisneros (2003), es una de las principales limitantes del riego superficial ya que en el último tercio del surco se hace muy marcada la poca uniformidad en el patrón de humedecimiento del riego.

Podemos observar que el tiempo de oportunidad en las tres primeras estaciones de los tratamientos con riego intermitente existe una tendencia a aumentar y luego en las siete estaciones restantes mantiene una disminución y aumento, tendencia que desde la primera estación es a disminuir en el tratamiento D, destacándose el tratamiento A que presenta menor variabilidad entre sus estaciones y entre el primer y último tercio del surco, el cual presenta en el último tercio 1,33 veces más tiempo de oportunidad que el tratamiento D permitiendo un mejor humedecimiento del surco en este tercio del surco.

Tabla 3.4 Tiempo de oportunidad promedio durante el riego

| Tratamientos | Estaciones | | | | | | | | | |
|--------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| A | 20,39 | 20,83 | 21,00 | 20,78 | 21,01 | 20,65 | 20,72 | 20,76 | 20,07 | 13,37 |
| B | 15,57 | 15,84 | 16,02 | 15,57 | 15,38 | 15,11 | 15,08 | 14,72 | 11,81 | 10,00 |
| C | 10,52 | 10,94 | 10,98 | 10,78 | 10,91 | 10,70 | 10,74 | 10,31 | 9,40 | 3,47 |
| D | 28,64 | 28,51 | 28,25 | 27,49 | 25,95 | 24,95 | 21,18 | 17,70 | 14,53 | 8,50 |

Resultados similares fueron obtenidos por (Rodríguez M. , 2014)

(Viera M, 2013), obteniendo tiempos de oportunidad 2,3 y 2,13 veces más en riego con intermitencia que riego con caudal continuo respectivamente, manteniendo una mejor uniformidad del riego y logrando así una mayor lámina de agua infiltrada capas de ser utilizada por la planta.

Para poder observar mejor la variabilidad del tiempo de oportunidad entre el primer y último tercio del surco analizaremos la figura 3.1

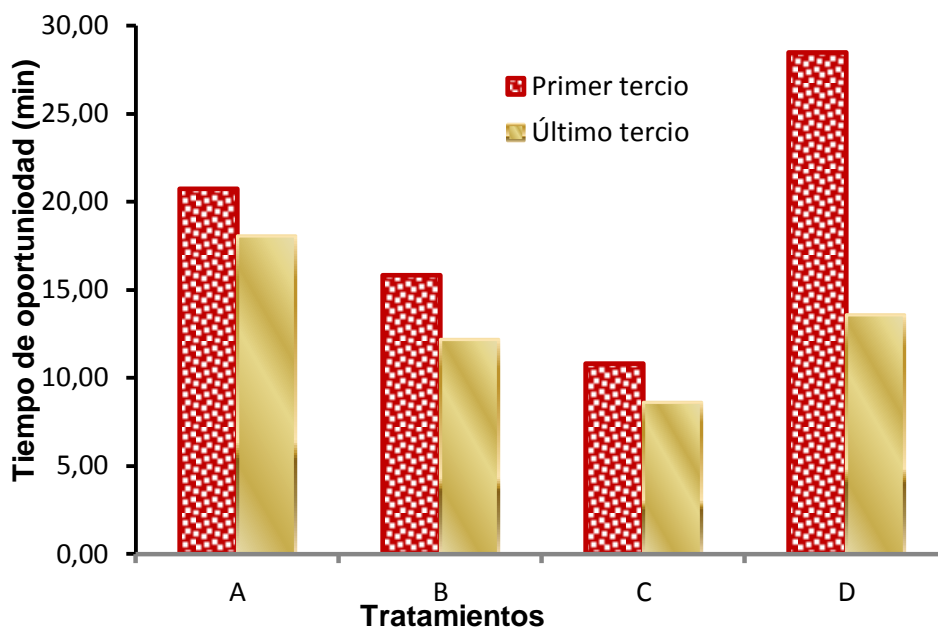


Figura 3.1: Tiempo de oportunidad promedio del primero y último tercio del surco.

En el figura 3.1 se ilustra el tiempo de oportunidad promedio del primer tercio del surco y del último tercio donde podemos observar que los tres tratamientos donde se utiliza el riego con caudal intermitente existe una menor variabilidad del tiempo entre el primer y último tercio donde se destaca el tratamiento A donde la diferencia es de 1,15 veces el primer tercio del último, siendo menor el D con una diferencia de 2,10 veces. Las variantes B y C obtuvieron diferencias de 1,30 y 1,26 veces respectivamente.

El tratamiento D a pesar de tener tiempos de oportunidad en el primer tercio superiores a los tiempos de las alternativas donde se utilizó el riego con intermitencia, se pudo analizar que el riego continuo practica una mayor pérdida de agua debido a la gran variabilidad que presenta entre el primer y último tercio del surco, presentando valores en el último tercio por debajo de la alternativa A y sin diferencias significativas con respecto al tratamiento B.

Resultados parecidos obtuvieron (Rodríguez M. , 2014), (Viera M, 2013), probando una vez más que a pesar de la variabilidad en el tiempo “of” se

obtiene mayor uniformidad en el patrón de humedecimiento en los riego con caudal intermitente y así una mejor uniformidad del riego.

En la tabla 3.5 se muestra el comportamiento de la velocidad de avance del agua de todo el proceso del experimento. Como podemos observar en todos los tratamientos excepto en el C la velocidad tiende a disminuir a medida que avanzan los riegos, en este tratamiento la velocidad presenta una tendencia a aumentar y disminuir por cada riego. Existen diferencias significativas entre los tratamientos con riego intermitente y el tratamiento con caudal continuo, y a pesar de que el tratamiento D presenta una menor velocidad que los demás, 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, por lo que queda demostrado que la relación existente 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 M. , 2014), logrando velocidades de avances por debajo de la velocidad máxima permisible.

Tabla 3.5 Velocidad del frente de agua en todos los riegos del proceso experimental.

| Tratamientos | Riegos | | | | | Media \pm S |
|--------------|--------|------|------|------|------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| A | 0,50 | 0,34 | 0,34 | 0,31 | 0,33 | 0,36b \pm 0,03 |
| B | 0,45 | 0,42 | 0,38 | 0,42 | 0,35 | 0,40b \pm 0,02 |
| C | 0,39 | 0,44 | 0,39 | 0,44 | 0,32 | 0,40b \pm 0,02 |
| D | 0,30 | 0,17 | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,21a \pm 0,02 |
| Sig | | | | | | 0,000 |
| CV % | | | | | | 7,46 |

En figura 3.2 se ilustra la velocidad del frente de agua en función de la distancia recorrida en el surco, como podemos observar todos los tratamientos, a pesar

de que el tratamiento D presenta menor velocidad siendo este el testigo, todas las demás alternativas incluyéndolo presentan una tendencia a disminuir su velocidad a medida que avanza la distancia en el surco, 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 y Fontova (1998) citado por Pacheco et al., (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, factores importantes para el desarrollo de cualquiera que pueda ser el cultivo a sembrar.

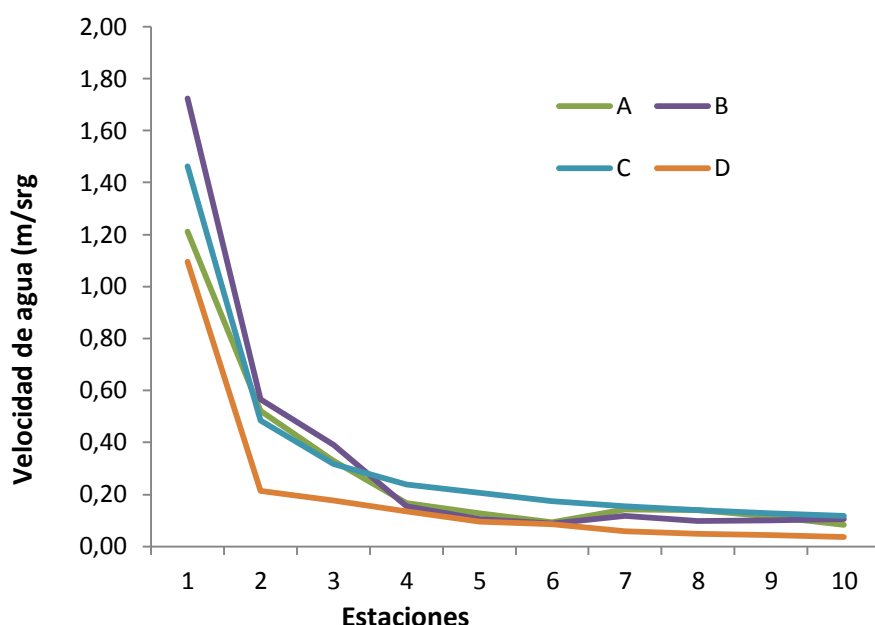


Figura 3.2: Velocidad del frente de agua contra la distancia recorrida

3.3 Lámina media infiltrada

En la tabla 3.6 se muestra la lámina media infiltrada para cada una de las estaciones de los cinco riegos efectuados en toda la trayectoria del surco. Podemos observar que la lámina infiltrada al inicio del surco (Z_i) es mayor en tratamiento D comparado con el resto de los tratamientos. La lámina infiltrada al final del surco (Z_f) mejora con los tratamientos A y B, la opción C a pesar de que presenta menor infiltración acumulada es la que presenta menor variabilidad entre la infiltración inicial y final, siendo esta de 0,007 m, mientras que la del que la del testigo es de 0,037 m, lo que propicia una mejor uniformidad, distribución y aprovechamiento del recurso agua. Igual sucede con

los tratamiento A y B presentando diferencias menores a la del D, por lo que podemos comprobar una estabilidad, en la longitud del surco, en la lámina de infiltración en el riego con caudal intermitente, superior al riego continuo.

Las alternativas A y B mejora la infiltración final del surco superando al testigo en 1,22 y 1,04 veces respectivamente,

Tabla 3.6 Lamina media infiltrada Z (m)

| Tratamientos | Estaciones | | | | | | | | | |
|--------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| A | 0,073 | 0,074 | 0,074 | 0,074 | 0,074 | 0,073 | 0,074 | 0,074 | 0,072 | 0,061 |
| B | 0,064 | 0,064 | 0,065 | 0,064 | 0,064 | 0,063 | 0,063 | 0,059 | 0,056 | 0,052 |
| C | 0,054 | 0,056 | 0,056 | 0,055 | 0,055 | 0,055 | 0,055 | 0,055 | 0,052 | 0,047 |
| D | 0,087 | 0,086 | 0,086 | 0,085 | 0,082 | 0,080 | 0,074 | 0,068 | 0,062 | 0,050 |

Resultados similares fueron obtenidos por (Viera M, 2013), obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a al parámetro infiltración donde el tratamiento con riego por pulso obtuvo mejores resultados, demostrando una mejor uniformidad del riego a lo largo del surco y haciendo un mejor aprovechamiento del agua por el cultivo.

En la figura 3.3 se ilustran la lámina media de infiltración para cada tratamiento en cada una de las estaciones donde se observarán todas las variantes de la infiltración y su variabilidad durante todo el surco.

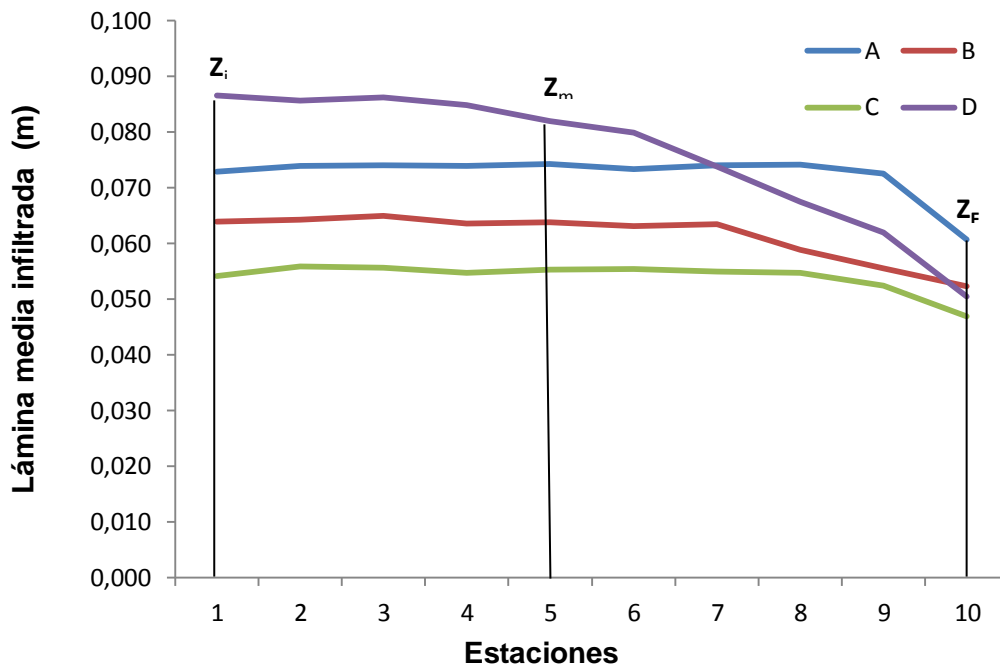


Figura 3.3: Lámina media infiltrada de cada tratamiento durante todo el surco

Entonces, empezaremos con la infiltración inicial (Z_i), donde entre los tratamientos existieron diferencias siendo el mejor tratamiento el D superando a los demás tratamientos en más de 1,61 veces, debido esto a que presenta una menor velocidad de avance del frente de agua ya que en riego continuo no se generan una serie de proceso como el reacomodamiento de partículas y el estacionamiento del aire entre los poros.

En cuanto a la infiltración media (Z_m) el que mejores resultados obtuvo fue nuevamente el tratamiento D, pero esta vez el de menor variabilidad fueron las alternativas del riego continuo manteniendo un igual valor de infiltración durante casi toda la distancia recorrida hasta el punto medio propiciando así una menor pérdida de agua durante el riego y una mejor uniformidad.

Para la infiltración en último cuarto (Z_{qi}) podemos analizar como los valores del tratamiento D disminuyen considerablemente 1,78 veces su infiltración inicial representando el 43,68 %, mientras que los demás no sobrepasan 21,92 % la

diferencia con respecto a la infiltración inicial, destacándose con menor variabilidad el tratamiento A que solo presenta una disminución de 1,28 veces representando solo un 21,92%.

La infiltración final (Z_f) de las alternativas de riego por pulso solo es superada por el testigo (riego continuo) la C presentando valores de 1,06 veces menos que el D, pero siendo este el de menor variabilidad entre la infiltración final e inicial siendo la final solo 1,20 veces menor que la inicial representando solo el 12,96 %, mientras que el tratamiento D presento una disminución de 1,74 veces, el 42,53 %. A pesar de esto se destaca la opción A con valore de Z_f de 0,061 m de lámina media de infiltración siendo 1,22 veces mayor que el testigo.

Este comportamiento se corresponde con lo verificado por; Brown (2000); (Camacho, 2005) y (Santana, 2007) y (Viera M, 2013) al definir como ventajas del riego por impulsos el ahorro de tiempo, el ahorro de agua y la uniformidad del humedecimiento subsuperficial a lo largo del área unitaria de riego.

3.4. Uniformidad de distribución

En la tabla 3.7 se muestran los valores alcanzados por la uniformidad de distribución en los cinco eventos de riego. Como podemos observar no existen diferencias significativas entre las alternativas de riego con intermitencia pero si entre estas y el riego continuo. Podemos observar que la distribución a lo largo del surco en los tratamientos de riego intermitente no está determinada por el tiempo de entrega de agua en la cabeza del surco, esta se comportó con valores muy similares en los cinco eventos de riego.

Se destaca el tratamiento A el cual presenta un 17,62 % mayor que el testigo, diferencia que es significativa según el análisis de varianza simple por el procedimiento de comparación múltiples de DUNCAN con un nivel de confianza de 95 %.

Tabla 3.7. Uniformidad de distribución total (UD_{total}) (%)

| Tratamientos | Riego | | | | | Media \pm S |
|--------------|-------|------|------|------|------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| A | 81,0 | 91,9 | 91,9 | 69,0 | 73,0 | 81,36a \pm 4,72 |
| B | 76,2 | 74,0 | 74,0 | 92,6 | 79,4 | 79,24a \pm 3,48 |
| C | 81,7 | 85,1 | 85,1 | 80,0 | 72,4 | 80,86a \pm 2,33 |
| D | 65,5 | 64,1 | 64,1 | 61,8 | 63,2 | 63,74b \pm 0,61 |
| Sig | | | | | | 0,0031 |
| CV % | | | | | | 5,80 |

En la figura 3.4 se ilustra como la uniformidad de distribución total y del último cuarto de los tratamientos donde se utilizó el riego con intermitencia superan significativamente al tratamiento D. En todos los tratamientos existe una tendencia similar tanto en la uniformidad total como en el último cuarto del surco.

Resultados que corroboran la ventaja del riego intermitente respecto al continuo en el incremento de la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución; ambos elementos desempeñan un importante papel en el ahorro de agua y energía.

Los regadores de la zona, históricamente han resuelto los problemas de falta de uniformidad con la aplicación de tiempos de riego mayores de los que se necesitarían si la aplicación fuera uniforme. Esta solución es de carácter puramente práctico, la utilización de más agua de la necesaria facilita el lavado de los fertilizantes necesarios para cualquier cultivo, existe además una pérdida constante del recurso e incrementa los costos de operación.

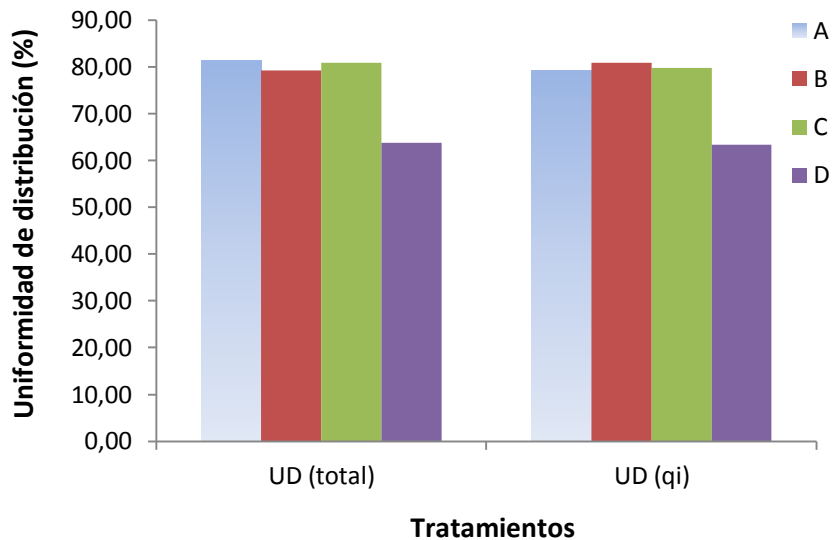


Fig. 3.4 (UD (total)) y la UDqi del último tercio del surco para los tratamientos.

(Pereira, Picornell, & Tarjuelo, 2010) y (García M. , 2011) argumentan que la uniformidad de distribución (UD) funciona como el indicador que caracteriza al sistema, por lo cual todo campesino o especialista en el tema debería tener este aspecto muy en cuenta a la hora de la planificación del riego para cualquier cultivo.

Resultados similares fueron los obtenidos por (Viera M, 2013), Brown (2000) y (Rodríguez M. , 2014), comprobándose que el riego con intermitencia es más eficiente y presenta una uniformidad de distribución más alta que el riego continuo.

4. Conclusiones

- Las técnicas de riego superficial con caudal intermitente lograron mejorar los tiempos de riego, propiciándose un ahorro de tiempo y recursos, un mejor aprovechamiento del agua y así una mejor uniformidad del riego.
- En cuanto a la infiltración se demostró que las técnicas del riego superficial con intermitencia mantuvieron una menor variabilidad durante todo el surco desatándose la alternativa A, superando al riego con flujo continuo en cuanto a uniformidad de distribución se refiere.
- Ya que las variantes del riego por surco con intermitencia no tuvieron altas diferencias significativas entre sí, se puede arribar a que el análisis y estudio realizado de los parámetros de manejo y diseño del riego superficial por surco en suelo Pardo Sialítico Carbonatado ratifican que el riego con caudal intermitente por surco es superior al realizado con flujo continuo en esta localidad bajo sus condiciones.

5. RECOMENDACIONES

- Continuar investigaciones similares sobre las técnicas de riego superficial para otros suelos de tradición en el municipio Jatibonico, para garantizar científicamente la posibilidad de extender la modalidad de riego intermitente en toda el área cultivable donde se utilicen fuentes superficiales de agua.
- Realizar actividades de capacitación a los campesinos para un mejor uso del recurso agua para la agricultura y para generalizar el riego intermitente en el municipio.
- Que se tomen en cuenta los parámetros discutidos para investigaciones futuras, para su comparación con resultados bajo diferentes tipos de condiciones.
- La fomentación de esta técnica de riego superficial, debido a las ventajas que promueve, principalmente el ahorro del agua.

6. Bibliografía

1. Mejoramiento del riego por surco en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) con el uso de un Tanque de Descarga de Fondo. (28-30 de noviembre de 2011). *I Conferencia Científica Internacional de la Uniss (YAYABOCIENCIA, 2011)*. UNISS, Sancti Spirit, Cuba: ISBN: 978-959-250-730-6, Feijoo y UNISS.
2. Alcaide, M. (2005). Riego por superficie. Ciego de Ávila, Cuba: Centros de estudios Hidrotécnicos.
3. Barreiro, C. (2000). *Estudio de diferentes manejo del agua (strees hídrico) en el cultivo del boniato (Ipomea batata L) y su influencia en la incidencia del tetuán (Cylas formicarius Fab)*. Univercidad de Ciego de Ávila. Cuba: Informe final proyecto nacional CITMA 002-0008.
4. Bishop, A., Walker, W., Allen, N., & Poole, G. (1981). Furrow advance rate under surge flow systems. En *Journal of the irrigation and Drainage Division* (págs. 257-263). ASCE, Vol. No. IR3.
5. Brown, O. (2000). Mejoramiento del diseño y manejo del riego por surco con flujo continuo e intermitente en suelos ferralíticos, mediante la utilización de un modelo matemático simplificado. *Tesis de Doctorado*. UNICA, Ciego de Ávila, Cuba: h. 118.
6. Brown, O. (2006). Modelos matemáticos para la simulación del riego superficial. Ciego de Ávila, Cuba: Informe final del PNCT 00200006. CEH-UNICA.
7. Brown, O., Abreu, E., Rodríguez, B., & Concepción, L. (1999). Evaluación y análisis de la infiltración del riego por surco. *II Evento internacional Tecnologías de Riego y Drenaje en la Agricultura Actual*. Ciego de Ávila , Cuba: UNICA.
8. Camacho, E. (10 de 11 de 2005). Tendencias actuales en el riego. *Curso predoctoral*. . Centro de Estudios Hidrotécnicos, Universidad de Ciego de Ávila.
9. Camejo, E. (2000). Estudio de diferentes manejos del agua (strees hídrico) en el culyivo del boniato (*Ipomoea batata* L.) y su influencia en la incidencia del tetúan (*Cylas formicarius* Fab) . *Informe final proyecto nacinal CITMA 002-0008*. Univercidad de Ciego de Ávila, Cuba.
10. Carbajal, L., & Carlos, M. (2004). Metodología para el mejoramiento del uso del agua del riego empleando el sistema de riego intermitente. *Tesis de Maestría*. Univercidad Nacional La Molina, Lima, Perú.

11. CID, G.; LÓPEZ, T. y GONZÁLEZ, F. (febrero 2006). Parámetros fundamentales para la caracterización hidropedológica general de los suelos. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 15, nº 4, pp. 42-47.
12. Cisnero, R. (2003). UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI, FACULTAD DE INGIENERIA, CENTRO DE INVESTIGACION Y ESTUDIOS DE POSGRADO Y AREA AGROGEODESICA: APUNTES DE LA MATERIA DE RIEGO Y DRENAGE.
13. Cisnero, R. (2003). Apuntes de la materia de de Riego y Drenage. Facultad de Ingeniería, Centro de investigación y estudios de Posgrado y Área Agrogeodécica, Universidad Autónoma de San Luis Potosi.
14. DECKERS, J., O. SPAARGAREN Y F. NACHTERGAELE, 1998. *Base referencial mundial del recurso suelo*. Informes sobre recursos mundiales de suelos 84. IISC, ISRIC, FAO. 90 p.
15. Delgadillo, O. (Noviembre de 2000). Algunos apuntes sobre los métodos y tipos de riego campesino y su relación con el diseño de sistemas de riego. *Ponencia presentada en el Seminario Internacional CORA*. Cajamarca, Perú: Centro Agua.
16. Delgado Ch, Y. 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: Yaly Betty Delgado Ch. *Trabajo de Diploma*. DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, Universidad de Santis Spíritus "JOSÉ MARTÍ PÉREZ".
17. Ecorriego. (12 de febrero de 2008). *Riego por Caudal Discontinuo*. Recuperado el 14 de marzo de 2011, de Córdoba, Argentina: Divulgación técnica: <http://www.argenpapa.com.ar>
18. Elliot, R., Walker, W., & Skogerboe, G. (1982). Zero inertia modeling of furrow irrigation advance. *Journal Irrigation and Drainage*. Division ASCE, 108 (3): 179-195.
19. Escalona, C. (1998). Producción de semillas sexuales de cebollino en condiciones tropicales. La Habana, Cuba: 1ra ed. "Liliana Dimitrova". p. 114.
20. FUENTES, FELICITA; ABREU, E.; FERNÁNDEZ, E. Y CASTELLANOS MAGALY.: *Experimentación agrícola*. 2da ed. Félix Varela. El Vedado. Ciudad de La Habana, Cuba. 1999.

21. García, E., & Fontova, M. (1998). Ingeniería de Riego. Centro de Investigaciones Hidráulicas Instituto Superior Politécnico "José A. Echevarría", La Habana, Cuba: 1ra ed. p. 260.
22. García, J., Dehogues, E., Tzonova, & Liliana. (1996). El riego. La Habana, Cuba: 1ra ed. Pueblo y Educación.
23. García, M. (5 de 2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. Uruguay: vol. 15, No 2, pp. 76-82.
24. GONZÁLEZ, A.; RIVAS, S. y CASTILLO, A. (2007). Efecto del sobre humedecimiento en algunas propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar. Granma, Cuba: Universidad de Granma (UDG).
25. González, P. (2008). Introducción al Riego y Drenaje. *Convenio Bilateral Cuba-Venezuela IIRD*. La Habana, Cuba: 1ra ed. pp. 1-16.
26. Grassi, C. (1998). fundamento de Riego. Centro Internacional de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CDIAT), Mérida , Venezuela: 2da ed. p. 118.
27. Harnad, S., & Stringham, G. (mayo de 1978). Maximum erosive furrow irrigation Stream Size. *Journal of Irrigation and Drainage*. Divisio ASCE, vol. 5, No. 104, pp. 275-281.
28. HERNÁNDEZ, A.; ASCANIO, M.; MORALES, M. y CABRERA, A., 2005. Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. 1ra ed. La Habana, Cuba: INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS (INCA).
29. Hernández, P. (1995). Metodología para la evaluación del riego por surcos. Centro Nacional de Capacitación Azucarera, Ciudad de la Habana, Cuba.
30. HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J. M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUIZ, J.; JAIMEZ, E.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.; GONZÁLEZ, J. E.; ORELLANA, ROSA.; PANEQUE, J. y MESA, Á., 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. 1ra ed. Ciudad de La Habana: AGRINFON Ministerio de la Agricultura. p. 64. ISBN 959-246-022-1.
31. Horton, R. (1940). An approach towards a phisical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Soc*, No. 5, pp. 399-417.

32. Israelsen, O., & Hansen, V. (1965). Principios y Aplicaciones del Riego. Barcelona, España: Reveté, S.A, pp. 110-115.
33. J. Monserrat, J. C. (1997). Aplicabilidad del riego a pulso en Tablares. *Ingeniería del agua*, 29-36.
34. Jurriëns, M., Zerihun, D., Boonstra, J., & Feyen, F. (11 de septiembre de 2001). *Surface irrigation*. Recuperado el 16 de septiembre de 2010, de Software. Design, operation and evaluation of basin, border and furrow irrigation with SURDEV computer package. ILRI.
35. Kirilova, I., & Pavón, C. (1986). Hidromel oraciones de Riego. La Habana, Cuba: 1ra ed. Editorial Ministerio de Educación Superior.
36. Kostiakov, A. (1932). On the dynamic of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for propose of amelioration. Moscow: Trans. Sixth Com. Int. Soc. Soil. Sci. pp. 17-21.
37. LANDINI, ANA.; MARTÍNEZ, D.; DÍAS, H.; SOZA, E.; AGNES, D. y SAINATO, CLAUDIA. (2007). Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura. *Ciencias del Suelo (Argentina)*, vol. 25, nº 2, pp. 123-131.
38. Manrique, O. (2000). Mejoramiento del diseño y manejo del riego por surco con flujo continuo e intermitente en suelos ferralíticos, mediante la utilización de un modelo matemático simplificado. Centro de Estudios Hidrotécnicos, Facultad de Agronomía, Universidad de Ciego de Ávila
39. MARTÍN, N. y DURÁN, J. L. (2008). *El Suelo y su Fertilidad*. La Habana. Cuba: Primera ed. San José de Las Lajas, UNAH. p. 170.
40. Monserrat, J. J. (1997). Aplicabilidad del riego a pulsos en tablares. *Ingeniería del agua*, pp.29-36.
41. Morábito, J. (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. *Tesis de Maestría*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Cuyo.
42. Morábito, S., & Prieto, D. (14 de agosto de 2008). Evaluación de campo al riego de agricultores, casos prácticos y ventajas para la difusión de la tecnología apropiada; Asesoramiento para los regantes para la modernización de los regadíos y su ambientalidad. La Antigua, Guatemala.

43. Mujica, A. (1997). Ingeniería de Riego I. *Curso de Maestría en Ingeniería de Riego y Drenaje*. Centros de Estudios Hidrotécnicos, Universidad de Ciego de Ávila.
44. Nalvarte, R., & Huachos, R. (2007). Necesidades de agua y evaluación de los sistemas de riego intermitente y continuo en el cultivo de Brócoli. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima, Perú: UNALM, nº 4.
45. Pacheco, J., Alonzo, N., Pujol, P., & Camejo, E. (2006). Riego y Drenaje. La Habana, Cuba: 2da. ed. Félix Varela, ISBN 959-258-999-2, p.170.
46. Pereira, L., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías. Madrid, España: Albacete: CREA-UCLM. pp. 296.
47. Pérez, R. (2004). Modernización de las formas de entrega de agua a los surcos en el riego superficial. *Proyecto 22-17*. Departamento Investigaciones, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje del Ministerio de la Agricultura, C. Habana.
48. Pérez, R., & Cid, G. (2008). El Riego Superficial. *Convenio Bilateral Cuba - Venezuela*. La Habana, Cuba: IIRD. p. 49.
49. Radulovich, R. (enero de 2009). Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense*. vol. 3, No 1, pp. 121-124.
50. Reyen, J., & Zerihun, D. (Septembers de 1999). Assessment of the performance of border and furrow irrigation systems and the relationship between performance indicators and system variables". *Agricultural Water Management*, vol. 40, No. 121, pp. 353-362.
51. REYES, J., PUJOL, R. (2005) Desarrollo del riego intermitente en Cuba. En: Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje del Ministerio de la Agricultura. Segundo Congreso Internacional de riego "Cubarriego 2005". Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba: MINAGRI, 2005.
52. Rodríguez , A., Aristizábal, A., & Camacho, J. (junio 2008). Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiaikov en un suelo Andino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 28, nº 1, pp. 64-75.
53. 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. Facultad de Ciencias Agropecuarias.,
Univercidad de Santis Spíritus "José Martí Pérez", Santis Spíritus.
54. Rodríguez, M., & Santana, M. (2003). Evaluación de la modalidad de riego intermitente en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) en Banao, Sancti Spíritus. *Trabajo de Diploma*. Departamento de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", Cuba.
55. Rodríguez, M., Santana, M., Alonzo, F., & Delgado, D. (28-30 de noviembre de 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. *I Conferencia Científica Internacional de la Uniss (YAYABOCIENCIA, 2011)*. Uniss, Sancti Spirit.
56. Roqué, C. (10 de marzo de 2009). *Caudal discontinuo, la última vanguardia en la técnica del riego*. Recuperado el 15 de febrero de 2011, de
[HTTP://WWW.PRSURGE.COM/ESPAÑOL/RIEGO/INTERMITENTE.HT](http://www.prsurge.com/ESPAÑOL/RIEGO/INTERMITENTE.HT)
ML
57. ROSENFELD, B. y DÍAZ, H. (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. Segundo Congreso Internacional de riego "Cubarriego 2005". Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba: MINAGRI, 2005.
58. Salgado, E. (2002). Relación-Suelo-Agua-Planta. *Convenio Bilateral Cuba - Venezuela: Propiedad Intelectual*. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE RIEGO Y DRENAJE: 2da. ed. ISBN 1- 0 -2 -3 -6- 0. p. 122.
59. 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. *Tesis de Doctorado*. Centro de Estudios Hidrotécnicos, Universidad de Ciego de Ávila: UNICA. p. 126.
60. Schilardi, C., Morábito, A., & Vallone, R. (2009). Modelación matemática del riego por superficie como una alternativa superadora para el manejo del riego en finca. Instituto Nacional del Agua, Centro Regional Andino y la Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza, Argentina: En Cuyo.
61. Strelkoff, T. (1977). Algebraic computation of flow in border irrigation. *Journal Irrigation and Drain*. Division, ASCE 103 (3): 335-337.

62. Viera M, R. A. (2013). MEJORAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA DEL RIEGO POR SURCOS, ASOCIADO AL CULTIVO DE LA CEBOLLA (*ALLIUM CEPA*, L.) EN SUELO FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO (FRL) DE LA COMUNIDAD DE BANAÓ. *TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN CIENCIAS HIDRÁULICA Y AMBIENTALES*. Instituto Superior Politécnico “José Antonio cheverría” Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, SANCTIS SPÍRITUS.