



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



TRABAJO DE DIPLOMA

*Desarrollo de una tecnología para el mejoramiento del riego por surco asociado al cultivo de la cebolla (*Allium cepa L.*), en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.*

Autor: Freddy Alonso de la Paz

Tutor: MSc. Ing. Manuel Rodríguez González

Sancti Spíritus, 2011





Pensamiento

La Agricultura es la única fuente constante, cierta y enteramente pura de riquezas.

La formación de Ingenieros Agrónomos y Agropecuarios de especialistas en la explotación de la tierra, en el desarrollo de la agricultura, sigue constituyendo una necesidad para los jóvenes que se inician en esta hermosa profesión la cual debe constituir un poderoso estímulo. El cultivador necesita conocer la naturaleza, las enfermedades, caprichos, la travesura misma de las plantas para dirigir el cultivo de modo de aprovechar las fuerzas vegetales y evitar sus extravíos. Necesita enamorarse de su labor y encontrarla como es, más noble como otra alguna. Aunque no sea más que por permitir el ejercicio más directo de la mente y detrás de cada escuela un taller agrícola, a la lluvia y al sol, donde cada estudiante sembrase su Árbol. Escribe un libro, crea un hijo: Planta un árbol.

José Martí



Agradecimientos

La Revolución, personificada en mis compañeros y colaboradores ha hecho posible la elaboración de la tesis, a ella, el eterno agradecimiento por la posibilidad, y el compromiso de seguir intentando ser útil a la causa noble y enaltecedora del pueblo, a ellos, mi deuda, pagable con el apoyo en todo momento y en particular a los que nos siguen.

A toda mi familia por su contribución, entendimiento y apoyo. Ella facilitó el camino, especialmente Betty y mi querida madre Odalinda

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

Quiero expresar un profundo agradecimiento a un grupo de personas y amigos allegados que han contribuido de manera decisiva a la preparación de este trabajo ya mi formación Profesional de los cuales me considero deudor, no solo por su amable estímulo o por la merecida crítica en el momento oportuno, sino también por la visión y el conocimiento que fueron capaces de brindar, a la MSc Yuramys Guzmán por brindarme su apoyo incondicional al compañero Arlet Montesino, en especial a los profesores Omar Félix, Lino el matemático, Meléndrez, Emma Muro, Víctor y a todos los demás profesores, también todos los trabajadores de la finca por su dedicación en todos mis experimentos realizados los cuales se realizaron con entusiasmo y un gran éxito día tras día hasta por fin lograrlo .

*A todos
Muchas gracias*



Dedicatoria

A la memoria de mi entrañable padre por haberme sabido guiar a través de la vida y por encontrar siempre en ellos el apoyo necesario para seguir adelante.

A mis hijos, por la inspiración que me da para señalarle el camino de la superación como fuente noble de riquezas y de bienestar en su futuro.

A mis hermanos, por formar parte de mi vida y estar presentes en mi en todo momento.

A mi esposa por brindarme todo su amor y cariño sin el cual no hubiera sido posible la realización de esta carrera de Ingeniero Agrónomo, a los amigos Omar Félix, Mari, Ruperto por darme la oportunidad y tener la confianza en mí para poder ser un buen profesional en la Agricultura y dar por demostrado que los campesinos también pueden superarse y contribuir a la hermosa tarea de sacarle los provechos de la madre naturaleza a todos que dios los bendiga y les dé toda la salud y la suerte del mundo.

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

*A todos
Muchas gracias*



Síntesis

Síntesis

Con el objetivo de evaluar el sistema de riego intermitente en comparación con el riego de flujo continuo, se toma como referencia la necesidad de manejo de agua y suelo en el cultivo de cebolla variedad Caribe 71 en la finca "La Esperanza" perteneciente a Banao. Se diseñó y evaluó Calzetín antierosivo como tecnología para riego intermitente con la finalidad de valorar su efectividad. El experimento se realizó en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, con un diseño en franja que obedece a la naturaleza del estudio, con tres tratamientos de 15 surcos cada variante y la presencia de un testigo, la unidad experimental de 505 m². Se utilizó la modalidad de tiempos constantes con tres ciclos de riego de 2 min cada uno. En la variante II y III se utilizó la tubería con compuerta con 15 ventanas activas para cada tratamiento, donde el agua que ingresa al sistema sale por las ventanas activas y de forma exploratoria se utilizó una Válvula Automática de Control *FULCON DN150* con su programador de modelo *Irritrol*. Los resultados revelaron que las condiciones hidrofísica del perfil de suelo son favorables para el desarrollo del cultivo y en las siete pruebas de avance de agua donde se utilizó el calzetín superó como promedio 1,11 veces el tiempo final de riego de la variante III con la misma carga hidráulica y 1,96 veces al testigo, demostrando que este accesorio permite utilizar el máximo caudal no erosivo. El tratamiento donde se utilizó el riego intermitente y el Calzetín nos permitió corroborar la superioridad con respecto al riego de flujo continuo, al proporcionar ahorro de agua, reducir las pérdidas de suelo por escurrimiento superficial y tiempo de riego. Respecto a las variables morfométricas existen diferencias significativas con los tratamientos restantes. Económicamente se logró ganancias en todos los tratamientos y el índice de rentabilidad fue favorable destacándose donde se utilizó el calzetín sin alteraciones de precios. El calzetín antierosivo puede ser una alternativa de bajo costo que puede ser adoptado por agricultores de la localidad.



Synthesis

Synthesis

With the objective to evaluate the Surge Flow septem in comparison with the continuous Flow, it is taking as reference the need of management of water and soil in the crops of orion Caribe 71 variety in the farm "La Esperanza" in Banao. It was drawn and evaluated as a technology of Surge flow the unerosive sock in order to value its efficiency the experiment was made in ferriferous red soil leachate soil with a design in fringe due to the disposition of the study with, three treatments of 15 furrows each variant and the presence of a witness in an experimental unit of 505 m.². It was used the modality of constant times with three cycles of flow of 2 minutes each one. In the variants 2 and 3 were used the piping with floodgate with 15 active windows for each treatment suhere the water which to the system go out through the active windows and in an explorer way was used an automatic control valve *FULCON DN150* with its programmer *Irritrol* model the results said that the hydrophilic conditions of the soil are favourable to the development of the cultivation and in the seven examinations of thwarters advance where was used sock surpass as average 1 ,11 the final time of flow in the variant 3 with the same hydraulic load and 1,96 times to the witness ,showing that this thing allow to use the maximum volume without erosion .The treatment where was used the surge flow and the sock allow us to corroborate the superiority in comparison with the continuous flow providing the economy of water, to reduce the waste of soils by superficial drain and time of flow. Related with the monphometric variables there are significant differences with the rest treatments. From the economic point of view we obtained profits in all treatments and the index of in comes was favourable where was used the sock without alteration in prices the UN erosive sock can be an alternative of low cost that can be adopted by farmers from the locality.



Índice

Índice

Contenido	Pág
1. Introducción	1
2- Revisión Bibliográfica	4
2.1 El agua y la seguridad alimentaria	4
2.1.1 El riego en el mundo	5
2.2 Riego superficial	6
2.2.1 Riego intermitente	9
2.3 Relación del riego con las propiedades hidrofísicas del suelo	12
2.4 Generalidades del cultivo de la cebolla	13
2.4.1 Anatomía de la planta de cebolla	15
2.4.2 Ciclo del cultivo de la cebolla	17
2.4.3 El riego en el cultivo de la cebolla	18
3. Materiales y Métodos	20
3.1 Ubicación del experimento	20
3.2 Descripción de las tecnologías	20
3.3 Diseño experimental	24
3.4 Estudios hidrofísicos del perfil de suelo	24
3.4.1 Densidad del suelo	25
3.4.2. Contenido de agua del suelo	26
3.5 Pruebas de avance del agua en el riego	26
3.5.1 Medición del escurrimiento superficial	27
3.6 Evaluaciones morfométricas durante el ciclo de cultivo	28
3.7 Variables cualitativas	28
3.8 Procesamiento estadístico	29
3.9 Análisis económico	29
4. Resultados y discusión	31
4.1 Características hidrofísica del suelo	31
4.1.1 Densidad aparente	31
4.1.2 Contenido de agua del suelo	32
4.2 Avance del frente de agua	33
4.2.1 Escurrimiento superficial y producción de sedimento	35
4.3 Evaluación de las variables morfométricas durante el ciclo del cultivo	38
4.3.1 Variables post-cosecha	41
4.4 Valoración económica	43
5. Conclusiones	44
6. Recomendaciones	45
7. Referencias Bibliográficas	46
Opinión del tutor	



Introducción

1. Introducción

Para el hombre la necesidad de utilizar el agua es tan antigua como su propia existencia y por consiguiente, desde sus inicios tuvo la preocupación por conocer sus características, sus orígenes, su dinámica y sus diferentes aplicaciones. En la antigüedad, tanto los chinos como los sirios, egipcios y romanos fueron muy hábiles en el manejo de las aguas para destinarlas al riego de campos agrícolas y al abastecimiento de agua a las ciudades. Durante la máxima expansión del imperio romano, en donde abarcó territorios de cerca de 25 países actuales, se hicieron construcciones que hoy día deslumbran por su belleza arquitectónica, pero fueron igualmente importantes sus sistemas de acueductos que suministraban agua potable a sus diferentes poblaciones, así como sus depósitos y baños públicos. En América, al igual que en las antiguas culturas europeas y asiáticas, las poblaciones también se desarrollaron a orillas de ríos y lagos. Sin embargo, gran parte de las labores agrícolas se realizaron durante los períodos de lluvia, lo que llevó al desarrollo de diferentes tipos de obras hidráulicas con la finalidad de ampliar sus fronteras agrícolas. Así por ejemplo, los incas desarrollaron el cultivo en terrazas en las laderas de montañas, que eran irrigadas por complejos sistemas de canales y embalses artificiales de agua (OSP, 2002).

La conservación de los recursos naturales es críticamente importante para ser considerada en nuestra iniciativa de desarrollo sostenible. El manejo y conservación del agua es de especial importancia, la degradación del suelo es el resultado de una relación no armónica entre el suelo y el agua, donde el factor antrópico desempeña un papel determinante. Ésta y la disponibilidad de agua potable son dos de los problemas más apremiantes que enfrenta el mundo, de ahí que el 25 % del área terrestre se encuentre afectada por alguna de sus manifestaciones. La superficie del suelo se encuentra sometida a constantes cambios, pero éstos se producen con mayor rapidez cuando el hombre, con sus prácticas agrícolas, industriales y otras, no toma en cuenta las normas elementales relacionadas con el manejo de los suelos (Hernández y. Hernández, 1999).

En años recientes ha habido una investigación amplia que confirma la creciente carencia de agua para propósitos de consumo humano e irrigación. El desarrollo económico y social de un país depende en gran medida de sus posibilidades para lograr producción del sector agrícola acorde a sus necesidades de alimento, y además, tener un excedente para exportar a otros países y servir de base a un desarrollo industrial. Los programas nacionales de desarrollo en la actualidad deben considerar el sector

agrícola. La utilización adecuada del recurso agua y suelo con fines de riego tienen impacto significativo en la economía del país (Madrigales, 2009).

El intelecto humano ha evolucionando a la par del desarrollo científico mundial con relación al riego, a través del riego del latín *rigare*, que significa esparcir agua sobre una superficie se intenta alterar artificialmente el ciclo hidrológico para incrementar la productividad. En Cuba el riego se conoce desde el siglo XVIII cuando las aguas del río Mayabeque regaron el Valle de San Julián de los Güines en la provincia de La Habana. En 1884 se constituyó la comunidad de regantes de Güines que a pesar de las halagüeñas producciones obtenidas por las bondades del riego, no tuvo homólogas, pues el riego siempre fue una promesa incumplida de los gobiernos anteriores a 1959. A partir del triunfo de la Revolución se comenzó a trabajar en Cuba en la construcción de obras hidráulicas, y en 1962 con la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) se organiza su estrategia hidráulica. Solo a partir de las últimas décadas del siglo pasado se ha enfrentado el riego con un enfoque científico racional, que permite utilizar el recurso agua con mayor eficiencia, minimizando efectos adversos como la erosión, el drenaje deficiente y la salinización de los suelos (Rodríguez y Santana, 2003).

En Cuba el 45% del área bajo riego es por gravedad aunque la mayor parte de las mismas está ocupada por el cultivo del arroz y los recursos hídricos son escasos, la tecnología de riego que utilizan la mayoría de los agricultores es la tradicional (riego continuo), la cual es de muy baja eficiencia de aplicación, siendo el método de riego por surcos con flujo continuo el más utilizado según Pacheco *et al*, (1995) citado por Rodríguez y Santana, (2003). Por tanto, es necesario mejorar la eficiencia de uso del agua de los pequeños agricultores mediante el fomento de la difusión y adopción de cambios tecnológicos sostenibles, como la tecnificación de un sistema de riego superficial con aplicación del agua mediante riego intermitente, el cual se presenta como una alternativa a los problemas encontrados en un riego superficial tradicional.

Los estudios realizados hasta la fecha fueron enfocados fundamentalmente en la utilización del riego para maximizar el rendimiento. El crecimiento de la conciencia colectiva de la importancia del agua como vehículo del desarrollo de todas las actividades económicas y sociales, junto con la creciente demanda de este recurso para el desarrollo de las actividades de la sociedad, hace que el estudio de eficiencia del uso del agua sea un tema estratégico para el sector. El riego superficial que se practica actualmente en la comunidad de Banao presenta características tales como: no existe una hidrometría básica, muchas veces el riego se convierte en una inundación debido a

que no existe nivelación del área de cultivo, por otra parte la utilización de grandes caudales en los entre surcos provocando erosión del suelo. Por tales razones el riego convencional que se practica en la actualidad presenta una baja eficiencia en el uso del agua y el suelo. Por tanto, es necesario mejorar la eficiencia de uso del agua de los pequeños agricultores desarrollando una tecnología sostenible de riego intermitente para el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L) en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, típico (FRL) (Hernández *et al*; 1999) del sistema productivo “La Esperanza” y contribuir al aprovechamiento del agua de riego.

PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cómo contribuir al uso racional del agua y detener la erosión provocada por el método de riego por surco utilizado, en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L)?

HIPÓTESIS

Si se utiliza una tecnología sostenible basada en la aplicación intermitente del agua y el uso de calcetines antierosivo en el cultivo de la cebolla en suelos Ferralítico Rojo Lixiviado, es posible lograr el mejoramiento de los parámetros del riego por surcos, uso racional del agua y mitigar la del suelo.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una tecnología sostenible mejorando los parámetros de diseño del riego por surco, utilizando el calcetín antierosivo, en el riego intermitente para el cultivo de la cebolla en suelos Ferralítico Rojo Lixiviado.

OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Comparar la tecnología para de riego intermitente con el riego continuo tradicional
2. Determinar las propiedades hidrofísicas del suelo en el área de estudio.
3. Determinar las respuestas agroproductivas en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, bajo las diferentes formas utilizadas.
4. Determinar la factibilidad económica de la tecnología implementada.



*Revisión
Bibliográfica*

2- Revisión Bibliográfica

2.1 El agua y la seguridad alimentaría.

El agua y la seguridad alimentaría están estrechamente relacionadas. La agricultura es, con gran diferencia, la mayor consumidora de agua, y representa alrededor del 69 por ciento de todas las extracciones en el mundo entero y más del 80 por ciento en los países en desarrollo. Un acceso fiable de agua suficiente aumenta los rendimientos agrícolas, proporcionando más alimentos e ingresos más altos en las zonas rurales donde viven las tres cuartas partes de la población hambrienta del mundo. No es de extrañar que los países con mejor acceso al agua suelen ser también los que presentan niveles más bajos de sub-nutrición. Si el agua es un elemento esencial de la seguridad alimentaría, su carencia puede ser una causa principal de hambrunas y sub-nutrición, especialmente en las zonas rurales expuestas a la inseguridad alimentaría, donde la población depende de la agricultura local para obtener tanto alimentos como ingresos. La sequía es la causa más común de la escasez grave de alimentos en los países en desarrollo. Incluso cuando la disponibilidad general de agua es suficiente, las lluvias y el acceso al agua irregulares pueden causar tanto una escasez de alimentos a corto plazo como la inseguridad alimentaría a largo plazo. Las inundaciones son otra causa principal de las emergencias alimentarias. Las grandes diferencias estacionales en la disponibilidad de agua pueden aumentar también la inseguridad alimentaría (FAO, 2004).

Si existe un suministro de agua suficiente y fiable, el riego puede aumentar los rendimientos de la mayoría de los cultivos entre un 100 y un 400 por ciento. Aunque sólo el 17 por ciento de las tierras cultivables del mundo se riegan, ese 17 por ciento produce el 40 por ciento de los alimentos mundiales. Además de mayores rendimientos, el riego aumenta los ingresos y reduce el hambre y la pobreza. Los datos muestran que cuando se dispone ampliamente de riego, la sub-nutrición y la pobreza son menos frecuentes. Diversos factores e insumos son fundamentales para el establecimiento de una agricultura eficiente. Entre ellos destaca el agua por ser imprescindible y porque su provisión oportuna durante todo el ciclo agrícola, especialmente en el trópico, requiere de obras relativamente costosas. A esta situación se suma el hecho que en la mayoría de las ocasiones, los años secos se alternan con años de exagerada precipitación (o

lluvias extemporáneas) que, a la larga, resultan tanto o más perjudiciales que la sequía. Ante esta situación se puede intuir que, si bien en el trópico se dan durante todo el año las posibilidades de realizar actividades agrícolas, esto dependerá de la construcción de represas y obras de saneamiento y regadío, para evitar inundaciones y asegurar la provisión de agua en las épocas de seca (González, 2008).

2.1.1 El riego en el mundo

El arte de regar es antiquísimo. En el transcurso de la historia, la civilización ha sufrido la influencia de la evolución del regadío. Civilizaciones enteras han florecido y se han extinguido sobre tierras regadas. La mayor parte de los expertos en cuestiones de riego están convencidos de la duración indefinida de tales culturas, siempre y cuando el regadío se practique racionalmente. Por el contrario, otros afirman que la civilización basada en una agricultura de regadío está destinada a decaer más tarde o más temprano, debido a que así ha ocurrido a otras anteriores en el tiempo. La perpetuidad de los pueblos civilizados depende de muchos factores, entre los cuales reviste capital importancia la existencia de una agricultura de rentabilidad permanente. En el mundo, cada vez toma mayor fuerza la idea de usar en forma racional y adecuada el recurso hídrico. Donde se usa en grandes cantidades, se produce también grandes pérdidas sobre todo en la utilización de métodos de riego superficial donde el escurrimiento y la percolación profunda son generalmente significativos (Pérez y Cid, 2008).

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 cuando empieza a difundirse esta técnica. Las eficiencias de aplicación y distribución de agua en el perfil (Roqué, 2009).

Los cultivos pueden expresar su potencial productivo cuando disponen de los factores de producción en la cantidad y oportunidad que los necesitan. Algunos de estos factores no pueden ser controlados por el hombre, dependen de la naturaleza como es el clima y las características naturales del suelo; otros factores productivos pueden ser controlados en mayor o menor grado, como el nivel de nutrientes del suelo, estado

sanitario del cultivo, contenido de humedad del suelo, etc. 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 aportar artificialmente (Narvate y Huachos, 2009).

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, 2005).

2.2 Riego superficial

El agua es uno de los recursos más importantes para la producción agrícola pues su almacenamiento en la zona radical de la planta garantiza su crecimiento. En las regiones de altas y frecuentes precipitaciones y en las regiones templadas, el agua del suelo se repone constantemente con la lluvia y no resulta por tanto una limitación importante para la producción agrícola. Sin embargo, en las regiones áridas y semiáridas o en zonas de precipitaciones escasas o mal distribuidas, que comprenden la tercera parte de la superficie terrestre, la escasez de agua es la limitación fundamental para elevar el rendimiento de las cosechas. El riego es uno de los medios que se dispone para mantener el agua del suelo a niveles óptimos en la zona radical de las plantas. Este recurso aunque es utilizado solo en un 20% de la tierra cultivada garantiza el 40% de la producción de todos los cultivos. El riego superficial se realiza depositando agua sobre la superficie del suelo o haciendo que el agua fluya sobre dicha superficie. En cualquier caso, hay que disponer de algún medio para regular el agua de modo que penetre a la profundidad adecuada del suelo, con el fin de suministrar a la planta el agua que necesita para que ésta pueda distribuirse uniformemente por todas

partes del terreno. Un sistema de riego eficaz deberá proporcionar también los medios de evitar pérdidas excesivas de agua por infiltración profunda o por escorrentía superficial en los extremos del terreno. Los dos criterios para un riego superficial eficaz son, pues, adecuación y eficiencia (Pérez, 2004).

El riego por superficie es todavía el sistema más extendido en el mundo. La mayoría de estos sistemas son fruto de la experiencia local y de procesos de ensayo. El riego por superficie fue el primer sistema en ser aplicado en el mundo, pero el último en ser analizado de forma completa. Ha sido en las últimas décadas cuando se ha desarrollado procedimientos de diseño de este sistema, que todavía hoy es el más complicado de diseñar y manejar. El riego superficial se caracteriza por que el agua aplicada corre libremente por efecto de la gravedad sobre la superficie del terreno hasta alcanzar el extremo más bajo de la parcela. La característica principal del riego de superficie es que el agua se distribuye en el campo por gravedad, de modo que el caudal de riego disminuye a lo largo del campo debido a la infiltración del terreno. Esta característica, bastante obvia, es la causa por la que el riego de superficie se mantiene en la actualidad a pesar de que en las últimas décadas se han desarrollado otros sistemas de riego alternativos, como la aspersion y el goteo (Pérez y Cid, 2008).

El uso internacional del riego superficial se debe a la simpleza de su operación y al bajo consumo de energía. A pesar de esas ventajas, esta forma de riego ha tenido muchos detractores en Cuba, debido a la baja eficiencia en su aplicación. Por ello, hubo un desarrollo impetuoso del riego por aspersion 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 está ocupada por el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L), caracterizándose los sistemas de riego superficiales por su baja eficiencia, debido a que se obvian principios indispensables en el proyecto que faciliten un eficiente manejo del agua por el regador (Pacheco *et al*, 2006).

La técnica de riego por surcos dentro del riego superficial es la que más se ha expandido y considerada la mas 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 y Santana, 2003 y Pacheco *et al*; 2006).

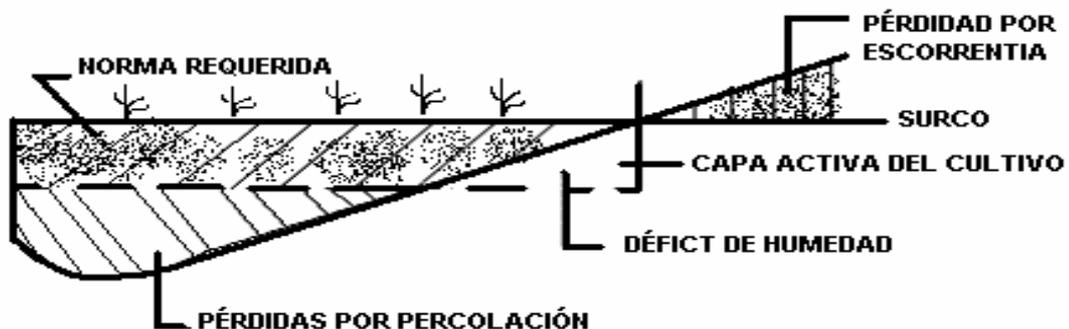


Figura 2.1 Patrón de humedecimiento típica del riego continuo. Fuente: Rodríguez y Santana, (2003)

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:

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

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

2.2.1 Riego intermitente

El sistema tradicional de riego por gravedad, como hemos visto, presenta ineficiencias por percolación profunda en la cabecera del surco y por escurrimiento superficial en la cola. Podría suponerse que sería imposible conseguir la uniformidad en la distribución del agua en estas condiciones, porque inevitablemente penetraría más cantidad de agua en el suelo, en el extremo inicial de la zona regada que en el final. Aunque siempre existe esta tendencia, es posible reducir al mínimo la falta de uniformidad y mejorar en la distribución del agua con riego superficial comparable con la de otros métodos (Rodríguez y Santana, 2003).

El sistema de riego intermitente (*Surge Flow*), es una técnica aplicada que fue desarrollada en los Estados Unidos de Norte América (EEUU) para el control del agua de riego. Su origen se debió a la necesidad del gobierno norteamericano de proveer a sus agricultores de un medio económico y eficaz que permita un ahorro del agua y su manejo en suelos salinos. Fue entonces, cuando las oficinas de los Distritos de Agua en conjunto con diversas universidades, perfeccionaron a principios de la década de los 80' esta metodología conocida en ingles como *Surge Flow* (Narvate y Huachos, 2009).

Stringham y Keller a finales de la década del 70', introdujeron el concepto de *Surge Flow* (riego intermitente) en la conferencia sobre especialidades en irrigación y drenaje

de la *American Society of Civil Engineers*. En marzo de 1986, la oficina de patentes de los EEUU registró esta modalidad de riego como un método y sistema por surcos y otorgo la patente a los doctores Jack Keller y. Stringham, en tanto que la Fundación de la Universidad del Estado de UTHA quedó como cesionaria o apoderada. Desde entonces se han experimentado de manera continua en varios centros de universidades privadas y estatales de California y Texas, así como en las de Kansas, UTHA y Colorado, entre otras. A pesar que en la actualidad dicha metodología de riego ya se ha difundido por todo el mundo, es importante indicar que los criterios para su diseño, sus rangos de aplicación práctica, así como sus ventajas y desventajas respecto a otros métodos de riego aun no están bien definidos (Cáceres, 1999).

El riego Intermitente, también llamado riego por caudal discontinuo (*Surge Flow*), utiliza un efecto natural que tienen todos los suelos en mayor o menor medida. Y este es la disminución de la capacidad de infiltración, cuando una vez mojado, se retira el agua y se deja "descansar" por un corto tiempo, de esa forma, el agua recorre el surco en varios ciclos discontinuos (3 a 6). La explicación del fenómeno del riego intermitente se debe a que entre un ciclo y otro se produce un disgregamiento de terrones que favorece el reordenamiento de los terrones del surco y una migración de sedimentos, dispersando las partículas en los poros y grietas, provocando un proceso de "sellado". Por esta razón al haber una interrupción de suministro de agua queda aire atrapado en los poros del suelo, durante el proceso de recesión, la estructura del suelo se altera, los terrones se disuelven parcialmente, las partículas se acomodan y forman una sedimentación que origina el aislamiento de la superficie, .el agua del próximo ciclo avanza en forma más rápida sobre la tierra húmeda. Esto ayuda a controlar tanto el drenaje en profundidad en la cabecera del surco como al pie del mismo, y se "regula" la infiltración obteniendo una mayor eficiencia en el uso del agua 80 a 85 % (PyR Argentina, 2008).

Por otra parte 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 (Carbajal, 2004).

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 (Narvate y Huachos, 2009).

El patrón de humedecimiento del surco, comparado con el del riego continuo mejoraría sustancialmente como se aprecia en el gráfico que sigue:

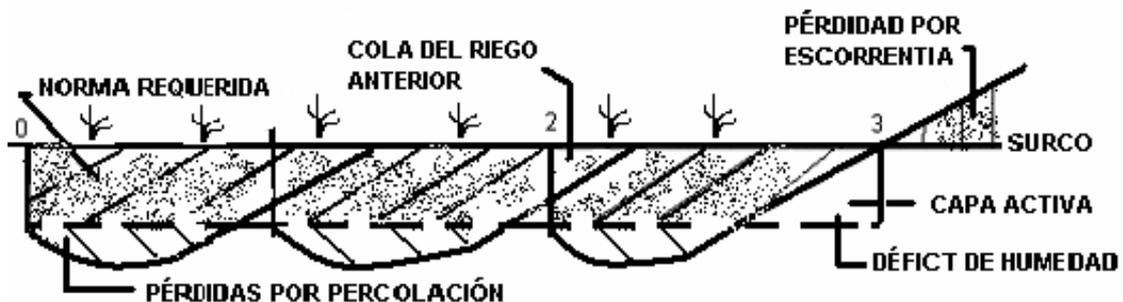


Figura 2.2. Patrón de humedecimiento del riego intermitente. Fuente: Rodríguez y Santana, (2003)

Ventajas del sistema

Las principales ventajas de esta modalidad de riego han sido muy justificadas y estudiadas por varios autores entre los que se pueden citar Rodríguez y Santana, 2003 Santana, 2006 y Narvate y Huachos, 2009).

- Uniformidad de infiltración: El efecto "pulso" permite administrar el agua desde la cabecera, logrando un desarrollo de la capa húmeda del subsuelo extremadamente pareja entre la cabecera y el pie de surco.
- .Permite alcanzar o superar el 70% de eficiencia de aplicación.
- Fácil instalación y operación.

- Mayor economía de agua ahorro de un 30 a un 50% de agua, respecto a los sistemas gravitacionales tradicionales y se pueden aplicar láminas pequeñas y frecuentes si se deseease
- Menor costo que los de sistemas presurizados
- Se puede usar en cualquier sistema de labranza, convencional, reducida y cero.
- Se puede utilizar en cualquier cultivo
- Se controla el problema de la erosión, por las mismas características de la intermitencia.
- Se puede reducir notablemente el uso de mano de obra.
- Con este método se permite mayores longitudes de surco que las tradicionales, variando según textura y pendiente entre 400 y 800 m
- No deja uno de regar las esquinas en un terreno rectangular como es el caso con un pivote

Desventajas del sistema

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

2.3 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 y Cid, 2008).

2.4 Generalidades del cultivo de la cebolla

La primera diferencia que estableció el hombre entre las plantas, cuando comenzó a utilizar la agricultura como arma de lucha por la supervivencia, fue en útiles y no útiles. La familia de las *Alliaceae*, a la cual pertenece la cebolla (*Allium cepa* L.) y el ajo (*Allium sativum* L.) agrupa un número de plantas de gran importancia y dentro de ellas se destaca inconmensurablemente la cebolla, se emplea comúnmente como condimento en las comidas, para darle mejor sabor, además, pueden consumirse en estados frescos. La cebolla cruda es estimulante y hasta excitante, cualidades que pierde cuando se coce, ganando, en cambio, en digestibilidad. También posee una acción bactericida muy fuerte según plantea Huerres y Carraballo, (1996). Por ese motivo, se ha usado en la medicina popular contra barros, inflamaciones y otros tipos de afecciones, por sus minerales es muy favorable para la solidez de los huesos y la elasticidad de las arterias, facilita el trabajo cerebral y regula el sistema nervioso. Es eficaz contra el estreñimiento y la falta de apetito y por sus propiedades diuréticas contribuye a eliminar los cloruros. Se recomienda su consumo para combatir el raquitismo, afecciones de las vías respiratorias, inflamaciones, cistitis, reumatismo y obesidad, entre otros (Viera y Rodríguez, 2006).

Este cultivo ocupa el segundo lugar en importancia económica en el mundo dentro de las hortalizas, con una superficie aproximada de 1.800.000 ha y una producción de 26.300.000 t. Los principales países productores son: China, EEUU, India y Japón. Los principales exportadores son: Holanda, España, EEUU, India e Italia y los importadores: Alemania, Reino Unido, Francia y Canadá. En América Latina, los países productores son: Brasil, Colombia, Argentina y México; representando el 7,5% del total de superficie

mundial y el 14% de la producción. La cebolla no se ha encontrado al estado silvestre, sin embargo, la mayoría de los autores coinciden en que su centro de origen se ubicaría en las regiones montañosas de Turquía, Irán, Afganistán y Pakistán. La diseminación de la especie a otras zonas ocurrió hace muchos años, existiendo evidencias de su cultivo en zonas aledañas hace 3.200 años a.C. y también se le menciona posteriormente en la Biblia y en el Corán. Su expansión fue amplia pero se desconocen detalles de fechas de introducción a distintas áreas. A América fue traída por los primeros colonizadores y rápidamente se incorporó a la dieta básica de distintos pueblos americanos, constituyéndose en ingrediente de comidas típicas como cebiche, empanadas y tamales. En la actualidad existen cultivares adaptados a todas las regiones del mundo, siendo China, India, Estados Unidos y Rusia los principales países productores (Garbi, 2004).

En la actualidad la cebolla ha sido objeto de estudio por la farmacología, encontrándose distintos usos terapéuticos, pudiendo citar su poder expectorante, calmante, emoliente, y estimulante de la función renal, se usa también en casos de indigestión, resfriados, hemorroides, lombrices y picaduras de insectos, eliminando además callosidades (Lorenzo; 2006).

La producción de cebolla en Cuba nunca ha alcanzado niveles tales como para autoabastecerse del producto y esto ha obligado al país a hacer importaciones a un costo superior a los tres millones de dólares en determinadas ocasiones. Este cultivo se siembra en casi todo el país, pero el 50% de la producción corresponde a la antigua provincia La Habana, entre el 25 y 30% a Sancti Spiritus. La zona de Banao, en la provincia de Sancti Spiritus, es una de las principales áreas cebolleras del país, donde existe cultura productiva y sobrada experiencia en el cultivo. La Unidad Experimental del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "*Alejandro de Humboldt*" (INIFAT) en el territorio, ha trabajado durante varios años con vista a mejorar la agrotécnica del cultivo, en la prueba de variedades, la búsqueda de alternativas para el control de plagas y enfermedades y en la tecnología para la producción de semilla a partir de las variedades cubanas. En los últimos años se han logrado significativos avances en estos aspectos y en investigaciones anteriores se determinó el marco de siembra y la densidad poblacional óptimos para la producción de bulbos madre

destinados a la producción de semilla, pues no se trata sólo de lograr altos rendimientos de bulbos con el tamaño y la calidad adecuados, que permitan un elevado poder de conservación en almacén a temperatura ambiente y humedad relativa incontrolable, generalmente alta, y que además en el segundo ciclo emitan la mayor cantidad de tallo florales posibles (Ronda, 2004).

2.4.1 Anatomía de la planta de cebolla

Huerres y Carraballo, (1996) basada en los criterios botánicos actuales, arguye que la *Allium cepa*, L se clasifica taxonómicamente de la forma siguiente: a) división *Macrophytyhta*; b) subdivisión *Magnoliophytina*, c) clase *Nymphaeopsida*; d) orden *Liliales*, e) familia *Alliaceae*; f) género *Allium*; g) especie *Allium cepa*.

El tallo de la planta de cebolla es un disco basal que se encuentra por debajo de la superficie del suelo (Fig. 2.1). En la parte superior y central de este disco se encuentra el meristemo apical, donde se inician las hojas, en forma opuesta y alternada, de tal manera que las hojas emergen en dos filas a 180° una de otra. Las hojas tienen dos partes bien diferenciadas: la vaina y la lámina. Las vainas de las hojas rodean completamente el punto de crecimiento formando un tubo que se proyecta desde el tallo y encierra en su interior a las hojas más jóvenes. Toda esta estructura se denomina 'falso tallo'. En la unión de la vaina y lámina de la hoja hay una abertura por la cual sale la lámina de la siguiente hoja. La lámina es un tubo hueco cerrado en la punta, ligeramente achatado en su cara superior (Lardizabal, 2007).

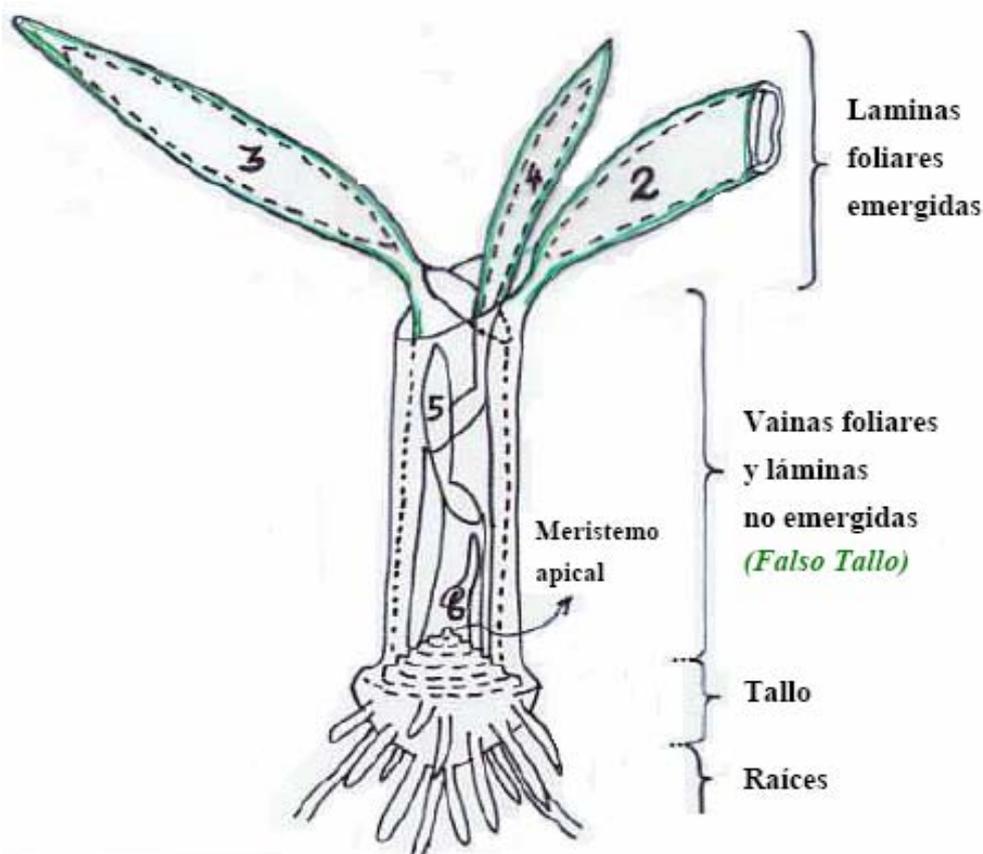


Figura 2.1. Representación esquemática de una planta de cebolla en la etapa de expansión de la hoja, previa al inicio de la bulbificación. Fuente: Landizibal, (2007).

La raíz embrional muere rápidamente y el sistema radicular se forma por raíces que salen continuamente del tallo y no se ramifican. Las raíces más jóvenes aparecen en la parte externa y superior del tallo. Alrededor del 90% del sistema radicular en la cebolla se concentra en los primeros 0,20 a 0,30 m de suelo. El bulbo es un órgano de reserva formado por las vainas de las hojas más jóvenes que se hinchan al aumentar el tamaño de sus células por la acumulación de carbohidratos de reserva (principalmente frúctanos). Cuando comienza la acumulación de reservas en las vainas de las hojas jóvenes, las láminas dejan de crecer y las últimas hojas nunca llegan a formar su lámina. Cuando el bulbo comienza a madurar, las vainas de las tres o cuatro hojas más viejas se deshidratan y forman una cubierta protectora que se cierra en la parte superior del bulbo e impide su deshidratación. Bajo las condiciones ambientales adecuadas el meristemo apical (y también otras yemas axilares) se diferencia en una yema floral dando origen a una inflorescencia. La inflorescencia es una umbela formada por hasta 600 flores y está ubicada en el extremo de un escapo verde y hueco que puede llegar a

más de 1 m de largo. De un mismo bulbo pueden formarse varias inflorescencias (Lardizabal, 2007).

2.4.2 Ciclo del cultivo de la cebolla

La cebolla tiene un ciclo de vida bi-anual. En la primera estación de crecimiento se forma el bulbo (*Fase vegetativa*) y en la segunda se forman las inflorescencias y se produce semilla botánica (*Fase reproductiva*), la cual es el modo de reproducción de esta especie (Fig. 2.2.).

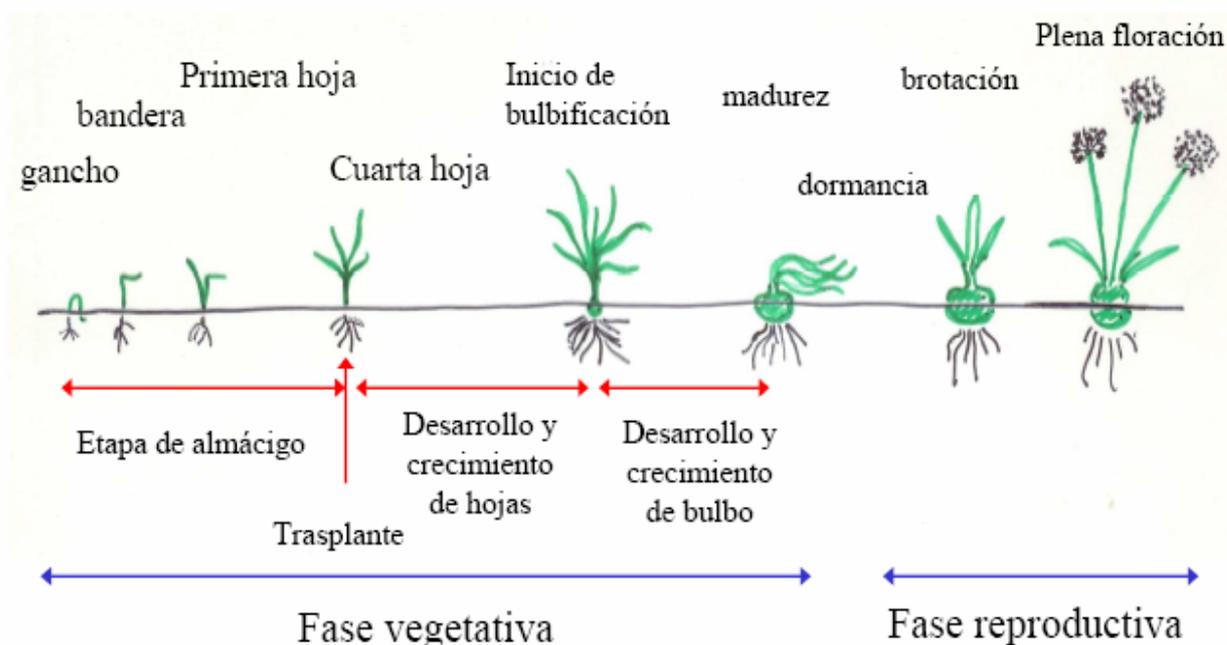


Figura 2.2: Fases fisiológicas del cultivo de la cebolla. Fuente: Landizibal, (2007).

De acuerdo a su respuesta fisiológica y ecológica, la cebolla es una especie poco competitiva y que muestra adaptaciones a situaciones de estrés. Por ejemplo, luego de la emergencia tiene una baja tasa de crecimiento relativo y su canopia formada por hojas cilíndricas orientadas verticalmente es poco competitiva y por lo tanto los cultivos de cebolla son superados fácilmente por las malezas. El sistema radicular es superficial y la densidad de raíces es baja. Los estomas se cierran y la fotosíntesis cesa con una disminución relativamente pequeña del potencial hídrico de la hoja. Por otro lado, las plantas de cebolla parecen ser capaces de sobrevivir períodos largos de baja disponibilidad de agua y pueden llegar a bulbificar prematuramente en respuesta al estrés hídrico. También son capaces de sobrevivir por largo tiempo a temperaturas muy

bajas. El proceso de bulbificación probablemente evolucionó como una adaptación para sobrevivir a los veranos áridos y cálidos de su zona de origen. El bulbo es un órgano de resistencia cubierto de hojas secas, que una vez formado entra en dormancia y brota luego de levantada esta y en la presencia de humedad. El estímulo que la planta recibe, indicativo de que el verano se acerca, es el alargamiento de los días. Al percibir el aumento del fotoperíodo la planta inicia el proceso de bulbificación (Galván, 2008).

En Cuba esta especie se siembra en casi todo el país, pero el 50 % de la producción corresponde a la provincia Habana, el 30 % a Sancti Spíritus y el resto de la producción a otras provincias (Lorenzo, 2006). El total de la producción nacional nunca ha alcanzado para autoabastecerse y esto ha obligado al país a hacer importaciones anuales a un costo superior a los 3 millones de dólares

2.4.3 El riego en el cultivo de la cebolla.

El cultivo de cebolla se caracteriza por un sistema radicular reducido, el exceso o deficiencia de agua lo afectan rápidamente (Tabla 2.1), esto indica la importancia del manejo del riego entre los factores de producción. En los diferentes tipos de suelo cuando se realiza siembra directa, en los primeros 40 días es preciso mantener el riego cada 2 - 3 días, no así en trasplante que puede tener un intervalo más amplio. Con posterioridad al trasplante debe mantenerse humedecida la capa de suelo a una profundidad de 30 cm hasta la etapa de maduración del bulbo en que debe suspenderse totalmente el riego para lograr un mejor secado del follaje y cierre del cuello, garantizándose un bulbo de mayor calidad (Rodríguez y Santana, 2003).

En los organopónicos, donde se emplea el sistema microirrigación, en una primera etapa (hasta los 30 días después del trasplante) se realizan dos riegos diarios de 5 - 10 minutos de duración. Posteriormente hasta que se coseche, se puede realizar en días alternos durante 10 - 15 minutos.

Huerres y Carraballo (1996), en un análisis del consumo de agua del cultivo han demostrado que la planta extrae más de 85% sus necesidades hídricas de la capa del suelo hasta 0,30 m de profundidad. La evaporación real total en condiciones de Cuba Oscilan, en siembra directas entres 250 – 300 mm, en dependencia de las condiciones

climáticas. Se considera que la capa a humedecer (Tabla 2.1) desde la siembra hasta el inicio de la formación del bulbo es de 0,20 m y a partir de esta, hasta el final del ciclo de 0,30 m de profundidad.

Tabla 2.1 Necesidades hídricas del cultivo de la Cebolla durante todo su ciclo vegetativo.

Cultivo	Consumo (mm)	Sensibilidad a la sequía
Cebolla	350-550	Media - alta

Fuente CITMA, (1999)

La producción de cebolla en Cuba nunca ha alcanzado niveles tales, como para autoabastecerse; la producción se destina fundamentalmente al consumo interno de la población, por lo que se hace necesaria la búsqueda de alternativas que contribuyan a incrementar las producciones con el menor gasto posible de recursos y, a la vez, proteger el medio ambiente.



Materiales y Métodos

3. Materiales y Métodos

3.1 Ubicación del experimento

La investigación se desarrolló durante la campaña 2010-2011 en áreas de la Finca “La Esperanza” sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, típico (Hernández *et al.*; 1999) de la CCS “Ramón Pando Ferrer”, perteneciente al Consejo Popular Banao, ubicado en la región central de Cuba al sudoeste del municipio Sancti Spíritus en las coordenadas LE: 216 000-218 000 y LN: 539 000-550 000. Siendo Banao una localidad distintiva en la calidad y cantidad de cebolla (*Allium cepa* L) para la producción nacional, pero presenta una situación compleja en los órdenes tecnológicos, ambientales, sociales y económicos.

La determinación de los parámetros de diseño y evaluación del riego por surcos en la cebolla con el uso de la tecnología: del Calzetín Antierosivo como accesorio de la tubería con compuerta y de forma exploratoria la Válvula Automática Hidráulica de Control Cerrada **FLUCON DN150** adquirida a través de tres proyectos internacionales en cooperación con la Junta de Andalucía, España, a través de la Diputación de Sevilla y la Mancomunidad de Municipios de Bajo Guadalquivir y el Proyecto Nacional de Ciencia y Técnica (00200006) “Mejoramiento de la Tecnología de Riego por Surcos”. Esta investigación se realizó a partir de los resultados experimentales obtenidos por Rodríguez y Santana, (2003) y Santana, (2006) en pruebas de campo del riego intermitente bajo las condiciones en que se desarrolla la producción de este cultivo en la localidad de Banao.

3.2 Descripción de la tecnología

Cuando se utiliza tubería de PVC, generalmente la velocidad del agua dentro de ella oscilan valores aceptables entre 1,0 y 2,0 m/s según PyR Argentina (2008), en consecuencia las presiones internas serán mayores que en el caso del surco por lo que el diseño del Calzetín Antierosivo (Fig. 3.1) consiste en un accesorio que se acopla al tubo de PVC y enfrenta la compuerta que tiene como función reducir la energía cinética del agua, dejando caer suavemente el chorro en el suelo atenuando el efecto disgregador del golpe de agua. Asimismo permite redireccionar el chorro de agua en casos que coincida la ventana o compuerta con el surco del cultivo. Este accesorio nos permite aumentar el caudal máximo no erosivo. El calzetín es de 0,30 m de largo y 0,06

m de ancho, compuesto por tres partes de lona, una de 0,12 x 0,22 m que equivale a un área de 0,0264 m² y las dos restantes de 0,06 x 0,06 m (0,036 m² por cada una de estas dos partes). Por lo que cada calcetín necesita 0,0336 m² de lona, de un metro cuadrado de lona se pueden confeccionar 27,9 calcetines. Además posee tres partes de malla que describen una circunferencia de 0,07 m de diámetro con orificios de 3 mm, con un metro cuadrado de esta malla se pueden confeccionar 67,2 calcetines, estas mallas se coloca en la inserción de cada una de las partes de la lona. También cuenta con dos accesorios de alambre de 3 mm de grosor, una que sostiene el calcetín al tubo de PVC y otro colocado en el inicio del calcetín, con un metro de alambre se puede confeccionar 2,5 calcetines para esta tubería de 3”.



Figura 3.1 Representación esquemática del calcetines antiersivo. *Partes del calcetín: 1,2, 3 fracciones de lona. 4 el accesorio de alambre que ajusta el calcetín a la tubería; 5 accesorio de alambre del cual se acopla el accesorio 4 y 6 fracciones de malla. Fuente: Elaboración propia*

La tubería con compuertas o ventanas tiene la misión de volcar el agua en la cabecera del surco, es un elemento estático, instalado sobre la superficie en la parte más alta del surco y tiene dos misiones principales: la primera es de conducción, es decir trasladar todo el agua de riego hasta el set de las compuertas activas, la segunda es de regular y asegurar el aporte de agua (q) sea el mismo en cada surco y constante en el tiempo (Fig. 3.2).

El agujero en el tubo es circular y su medida es aproximadamente de 2,3 cm y el diámetro del tubo 7,82 cm (3"). Las compuertas están distribuidas a lo largo del tubo a una distancia de 0,45 m que obedece a la distancia de plantación del cultivo. Esta tubería con compuerta me permite reducir las pérdidas de distribución. Como alternativa de las compuertas se utilizó la parte superior de los frascos que se comercializan por la empresa de bebidas y licores, el material de construcción del frasco plástico es PVC, el diámetro de la parte superior 2,0 cm con tapas perforadas de un diámetro de 5 mm "el área de conducción de la tubería, es mayor que la suma de las áreas de cada una de las compuertas" para asegurar que trabaje a sección completa la tubería. La capacidad de descarga por compuerta fue de 0,209 l/s (0,75 m³/ha).

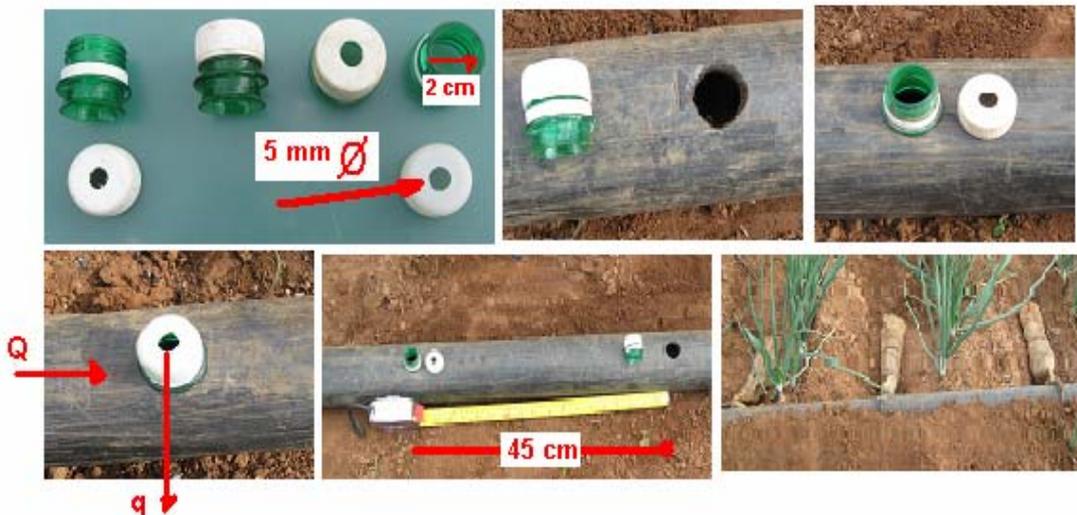


Figura 3.2 Representación esquemática de la tubería con compuertas. Fuente: *Elaboración propia*

La Válvula Automática Hidráulica de Control Cerrada **FLUCON DN150**. Es de tipo "globo", con cierre por asiento, actúa hidráulicamente mediante un diafragma. Esta constituida básicamente por tres componentes: cuerpo, tapa y conjunto de diafragma/muelle (Fig. 3.3). El diafragma determina una cámara entre el mismo y la tapa, la separa de la zona de paso del agua. Cuando se aplica presión a la parte superior del diafragma, esta desplaza el conjunto hacia abajo, apoya sobre el asiento produciendo el cierre. La válvula normalmente cerrada tiene diversas aplicaciones tanto en el riego agrícola, como en la distribución de agua potable o en procesos industriales. Esta tecnología puede operar de forma manual, semiautomática y automática. La válvula fue fabricada en España por la compañía **ACUSTER** modelo **FULCON DN150**.

El programador es del modelo **IRRITROL** (JRDC-1-R) responsable de organizar el riego creando la alternancia entre ciclos de riego, consta de tres parámetros fundamentales: duración del riego para cada estación; días de riego y hora de arranque del programa. Cada estación puede asignarse a un programa ingresando el tiempo de riego en ese programa y las estaciones pueden asignarse a ambos programas. Este programador requiere de una batería de 9 voltios preferiblemente alcalina de buena calidad. A la hora que se haya seleccionado, la primera estación del programa 1 iniciará el riego. Las demás estaciones de este programa operarán secuencialmente, una tras otra, automáticamente. En condiciones normales de uso la batería suele durar una temporada de riego.

Características técnicas

- Material: Fundición G25
- Recubrimiento: Poliéster en polvo
- Presión máxima: 16 Kg/ cm²
- Los tornillos, tuercas y arandelas son de acero inoxidable AISI 304.
- Membrana (diafragma): Neopreno
- Muelle: Acero inoxidable
- Válvula roscada: BSP, NPT b/ pedido
- Tamaño 6" DN 150

Dimensiones

Válvula	Largo (mm)	Altura (mm)	N**	D**	kg
DN 150	390	320	8	22	50

N** Número de taladros
D** Diámetro de los taladros



Figura 3.3: Válvula Automática Hidráulica de Control Cerrada **FLUCON DN150** y el programador modelo **IRRITROL** (JRDC-1-R). Fuente: Elaboración propia

3.3 Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue en franjas con tres tratamiento (nivel de factor), su empleo obedece a la naturaleza de los estudios con un marco de plantación 0,08 x 0.45 m de forma tradicional, las observaciones se realizaron en el área efectiva de cada parcela, para evitar el efecto de las variantes vecinas. La unidad experimental fue de 505 m² (0,050 ha) con 15 surcos de 30 m de largo, la tabla 3.1 muestra la descripción de los tratamientos. La pendiente de la unidad en estudio fue de 1,5 %. El riego intermitente se efectuó por la modalidad de tiempos constantes con tres ciclos de riego para las variantes estudiadas. El tiempo de cada ciclo de riego fue de 2 min. La siembra se realizó el 19 de diciembre del 2010 empleando la variedad de cebolla Caribe 71, por el método de siembra por transplante.

Tabla 3.1: Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción
Variante I	Riego con flujo continuo (testigo)
Variante II	Riego intermitente con calcetín como aditamento
Variante III	Riego intermitente sin calcetín

Fuente: Elaboración propia

En las variantes II y III se utilizó la tubería con compuertas con un total de 30 ventanas es decir 15 ventanas activas para cada tratamiento, toda el agua que ingresa al sistema por estos tratamientos sale por las ventanas activas. En el surco se hicieron puntos de lectura cada 5 m, la estación cero del surco evaluado fue considerada a partir de dos metros de separación del zanjillo y la tubería con compuertas. En los surcos de evaluación se registró el tiempo desde que el frente de humedecimiento alcanza las diferentes estaciones a lo largo del surco hasta que comienza a verter en la última estación, momento en que se cortó el caudal de entrega.

3.4 Estudios hidrofísicos del perfil de suelo.

La degradación del suelo en el área de estudio se produce aceleradamente por prácticas agrícolas inadecuadas relacionadas con la orientación de los surcos en relación a la pendiente, caudales de riego superiores a los requeridos y la no implementación de prácticas conservacionistas. Los niveles de producción obtenidos en los últimos años han comprometido la estabilidad del ecosistema, manifestándose en la degradación de las propiedades físicas del suelo. Hernández *et al*; (2006), consideran

un elemento de primerísima importancia el estudio de las características del suelo en la aplicabilidad de los sistemas de riego por superficie. Las propiedades físicas de los suelos son tan o más importantes que las propiedades químicas. Estas últimas han sido muy estudiadas y su corrección es más factible dentro de las propiedades físicas tenidas en cuenta en el estudio están la Densidad aparente y el Contenido de Agua del suelo.

3.4.1 Densidad del suelo

La densidad aparente (*da*) establece la relación que existe entre la masa del suelo y el volumen que ocupan las partículas del suelo más el volumen de los poros, se determina por la ecuación propuesta por Martín y Durán, (2008) [3.1]. Este parámetro tiene un gran valor agrícola, ya que nos define el grado de compactación del suelo, es decir nos indica el grado estructural presente en un suelo dado.

Las muestras fueron tomadas con un cilindro de un volumen de 71,5 cm³ el cual permitió el estudio de esta característica física sin afectarla significativamente. Las muestras se obtuvieron en una calicata donde se introduce el dispositivo en las diferentes capas de 10 cm hasta la profundidad de un metro. Se continúa con el secado durante 24 horas a 105 °C y la determinación analítica de la densidad del suelo para los diferentes perfiles. Para obtener el valor medio del muestreo se promedian los valores obtenidos por profundidad por el procedimiento matemático [3.2] sugerido por Pérez y Cid, (2008).

$$da = \frac{m}{v} \tag{3.1}$$

donde:
 da = densidad (g/cm³)
 m= masa del suelo seco (g)
 V = volumen interior del cilindro (cm³).

$$Da_{media} = \frac{\sum Da(i)}{n} \tag{3.2}$$

donde:
 Da_{media} – Densidad aparente promedio por profundidad
 Da_(i) – Valores de la densidad aparente en las diferentes muestras tomadas para una profundidad.
 n – Número de muestras para una profundidad dada.

3.4.2. Contenido de agua del suelo

Cantidad de agua que retiene el suelo contra la fuerza gravitacional una vez que ha drenado libremente no es un valor único, es un sistema dinámico, de remoción de agua por medio del drenaje, evaporación y transpiración del agua que se agrega a través del rocío, la lluvia y el riego, en un suelo bien drenado se alcanza a 72 horas después de una total saturación, el suelo contiene la máxima cantidad de agua disponible para las plantas. La humedad del suelo se determina por el método gravimétrico y las muestras se toman con una barrena de sonda y se secan durante 24 horas a 105 °C. Esta propiedad se determinó por la ecuación [3.3] propuesta por Levine y Washburne, (1997).

$$\% \text{ CAS} = \frac{b - c}{c - a} * 100 \quad [3.3]$$

donde:

%CAS: contenido de agua del suelo (bss)

a: masa del pesafiltró

b: masa del pesafiltró + masa del suelo húmedo

c: masa del suelo seco+ masa del suelo húmedo

3.5 Pruebas de avance del agua en el riego

Las pruebas de avance se realizó en los tres surcos seleccionados para cada una de las variantes en estudio, para el testigo (riego tradicional) se le aplicó un caudal a partir de un zanjillo nivelado con pendiente próxima a cero, construido en el extremo superior de la parcela que permite garantizar una carga hidráulica uniforme para cada surco. Para las variantes II y III donde se aplica el riego intermitente se utilizó una tubería de tres pulgadas (7,82 cm) con compuertas. Para determinar el gasto medio, se utilizó un vertedor triangular de lámina metálica de 0,40 x 0,25 m con ángulo de 90° (Fig. 3.4), las mediciones de la altura del agua sobre la cresta del vertedor fueron hechas por medio de una escala que presenta este instrumento. Se colocan dos vertedores por cada variante el primero en la estación cero y el segundo a los 20 m. Para transformar la unidad linear (cm.) de las mediciones del tirante en gastos (l/s) se utilizó la ecuación [3.4] propuesta por Israelsen y Hansen, (1965).

$$Q = 1.38 * H^{5/2} = \quad [3.4]$$

Donde:

Q = Gasto que pasa por el vertedor (l/s)

H = Tirante (cm.) altura del vertedor

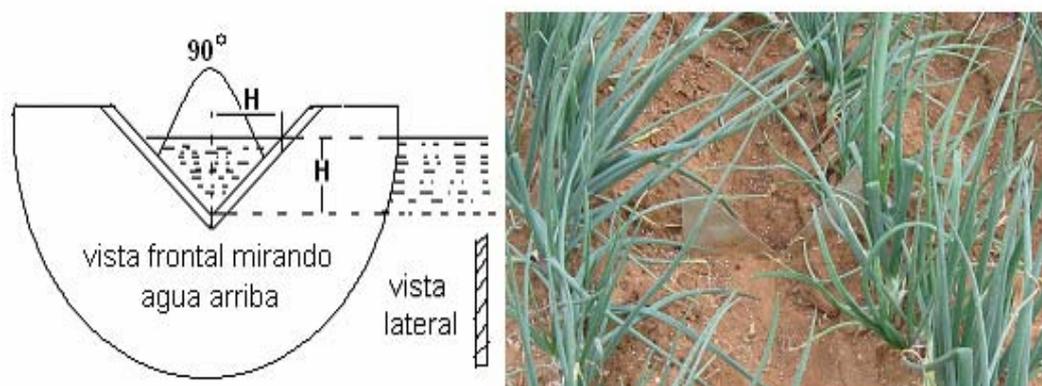


Figura 3.4: Vertedor triangular de 90°, de pared delgada. Fuente: Israelsen y Hansen, (1965).

3.5.1 Medición del escurrimiento superficial

Para cada evento de riego en todos los tratamientos se determinó el escurrimiento superficial, las pérdidas de suelo y la intensidad de escurrimiento. Con la utilización de parcelas de escurrimientos superficial (registro para coleccionar los volúmenes de agua y suelo escurrido) (Fig. 3.5), se colecciona el agua y el sedimento de los tres surcos, con un área efectiva de 40,5 m² de superficie. Estas variables fueron determinadas por los procedimientos recomendados por Betancourt *et al*; (2004) y Carolina *et al*; (2009) para medir Lámina de escurrimiento [3.5], Producción de sedimento [3.6] y Intensidad de escurrimiento [3.7]. Estas parcelas nos permiten obtener datos sobre pérdidas de suelo t/ha y agua litro que están relacionados con un área bien definida.

$$Le = \frac{Ve_o}{A} = \quad [3.5]$$

donde:

Le: Lámina de escurrimiento (L/m²)

Ve_o: volumen de agua escurrida (L)

A: área del lote de escurrimiento m²

$$As = Ve_o * Ps = \quad [3.6]$$

donde:

As: Producción del sedimento (g / L)

Ps: peso del sedimento (g)

Ve_o: volumen de agua escurrida (L)

$$I_e = \frac{V_{eo}}{t} = \quad [3.7]$$

donde:

I_e : Intensidad del escurrimiento (L/h)

V_{eo} : volumen de agua escurrido (L)

t : tiempo de riego (h)



Figura 3.5: Parcela de escurrimiento superficial. Fuente: Elaboración propia

3.6 Evaluaciones morfométricas durante el ciclo de cultivo

Las variables evaluadas: la altura de la hoja principal (cm), diámetro del seudotallo (cm), diámetro del bulbo (cm), rendimiento en rama (kg) y rendimiento total de bulbos (t/ha). Las dos primeras se realizaron con un intervalo de 15 días hasta la cosecha y el resto después de la cosecha, la cual se efectuó a los 90 días después de la siembra. El tamaño de la muestra fue de tres grupos de forma aleatoria de un metro en la parte alta, media y baja del surco. Se tuvo en cuenta los descriptores establecidos por el IPGRI, ECP/GR, AVRDC, (2001).

3.7 Variables cualitativas

Para el comportamiento cualitativo de los tratamientos se utilizó la herramienta estadística propuesta por Quintero *et al.*; (2004) teniendo en cuenta las siguientes consideraciones (Tabla 3.2), para todas las variables morfométricas del cultivo.

Tabla 3.2 Denominación del comportamiento de los tratamientos

Categoría de comportamiento	Condición
Sobresaliente	$X_i > (X_g + ET)$
Bueno	$X_g \leq X_i \leq (X_g + ET)$
Regular	$(X_g - ET) \leq X_i < X_g$
Malo	$X_i < (X_g - ET)$

Leyenda: X_i : media particular de rendimiento de cada tratamiento

X_g : media general de rendimiento para todo el conjunto de tratamiento estudiado en la época en cuestión. ET: Error estándar de la media general.

Fuente: *Quintero et al; (2004)*.

3.8 Procesamiento estadístico

Los datos referidos a las variables morfométricas dependientes: diámetro del seudotallo, altura de la hoja principal, diámetro del bulbo y rendimiento en rama, fueron analizados y procesados por el paquete estadístico SPSS versión 11.5 para el Microsoft Windows. La distribución normal de los datos se comprobó con la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*. Se utilizó para las pruebas paramétricas la tabla de ANOVA y se efectuó un análisis de varianza de clasificación simple con la prueba de *Duncan* y (HSD) de *Tukey* para el caso de las pruebas donde existía normalidad se realizó *Mann-Whiney* como prueba no paramétricas. Se determinó cuál de los tratamientos fue el mejor, con un 95 % de confiabilidad ($p < 0.05$). A partir de estos análisis se determinó el coeficiente de variabilidad (CV %) para cada nivel de factor en cada variante en estudio.

3.9 Análisis económico

El análisis económico se realizó para una hectárea a partir de los elementos de una ficha de costo. En la tabla 3.3 se muestran los elementos de costo que se consideraron. El valor de la producción se calculó teniendo en cuenta los rendimientos en (t/ ha) y el valor de venta según Acopio Provincial fue de 1,80 pesos (MN) la libra en rama. Para las diferentes variantes estudiadas se evaluó la ganancia por la ecuación [3.8] y el índice de rentabilidad [3.9]:

- Total de gasto (salario e insumo).
- Total de ingresos a partir de la producción.
- Ganancia.
- Índice de Rentabilidad.
- Costo por peso CP/VP

$$G = \frac{Vp}{Cp} = \quad [3.8] \quad 30$$

$$R = \frac{G}{Cp} * 100 = \quad [3.9]$$

donde

G: Ganancia

VP: Valor de la producción

CP: Costo de la producción

R: Rentabilidad.

Elementos de costos considerados para realizar el análisis económico del experimento.

Tabla: 3.3 Elementos de costo enmarcados en la carta tecnológica y su ficha de costo

Rotura	Escarde (3)
Grada	Fumigación de medio biológico (<i>Trichogamma</i>) y su costo
Cruce	Fertilizante (NPK) 12-7-9
Surcar	Fumigación herbicidas, insecticida y fungicida
Compra de la semilla	Recolección
Siembra	Cargue y descargue del camión
Riego (mine y riego # 7)	Salario básico y complementario (9,09)
Guataquea (2)	



Resultados y Discusión

4. Resultados y discusión

4.1 Características hidrofísica del suelo

4.1.1 Densidad aparente

Como se observa en la tabla 4.1 los valores obtenidos de densidad del suelo están en el rango de $0,94 - 1,20 \text{ g/cm}^3$ en los primeros $0,50 \text{ m}$ de profundidad con un valor medio de $1,13 \text{ g/cm}^3$. Sobre este comportamiento de densidad aparente Martín y Duran, (2008) han descrito que se considera como normal en el rango $1,0$ hasta $1,20 \text{ g/cm}^3$. Estos propios autores consideran que los valores entre $1,21 - 1,45 \text{ g/cm}^3$ el suelo es compacto, es decir que en este suelo a profundidades mayores de $0,50 \text{ m}$ se considera compacto. Estos valores están acordes con los parámetros descritos por Morell, *et al*; (2006), donde plantean que los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados a medida que aumentan la profundidad se incrementa el grado de compactación por el mismo fenómeno de lixiviación y efecto antropogénico.

Tabla 4.1: Valores de densidad del suelo

Profundidad (cm)	$da \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$Da_{media} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
0-10	0,94	1,13 ***
10- 20	1,0	
20-30	1,15	
30-40	1,17	
40-50	1,20	
50-60	1,28	1,39 ///
60-70	1,34	
70-80	1,43	
80-90	1,41	
90-100	1,52	
$Da_{media} \text{ Total}$		1,27

*** Valor medio de Da_{media} hasta los $0,50 \text{ m}$ de profundidad.

/// Valor medio de Da_{media} de $0,50 \text{ m}$ hasta $1,0 \text{ m}$ de la calicata.

Fuente: Elaboración propia

De modo práctico se manifiesta a través de la resistencia que ofrece el suelo a la penetración del cilindro durante la extracción de las muestras. Esto contribuye a sostener que esta variable es marcadamente modificada por la historia de uso y manejo del agua y suelo, según lo planteado por Shafiq *et al*; (1994), es un indicador sensible del deterioro físico del suelo.

En la figura 4.1 se puede apreciar que la densidad aparente de este suelo es idónea para el cultivo de la cebolla según Huerres y Carraballo (1996), que plantean que el mayor desarrollo de raíces del cultivo está en los primeros 0,40 m de profundidad. Debido a las condiciones mecánicas del suelo es adecuado para la exploración radical en la capa activa del cultivo, principalmente cuando el suelo se encuentra en el potencial de agua cerca del punto de marchites permanente.

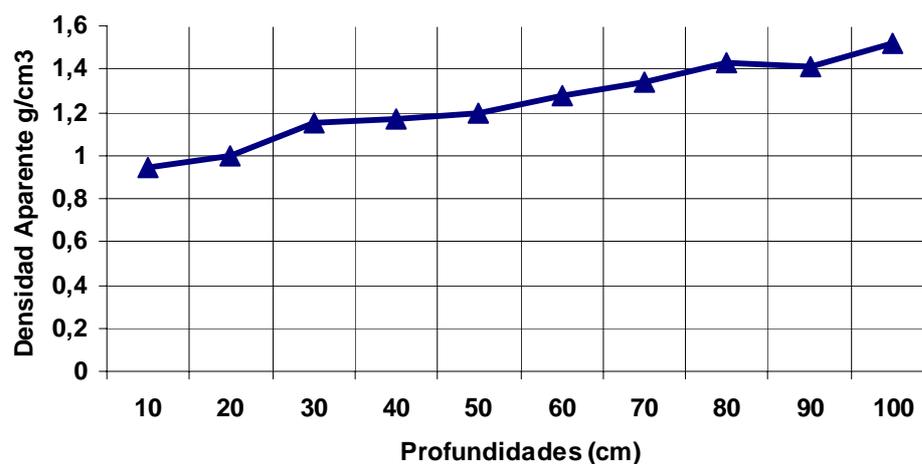


Figura 4.1: Relación de la densidad aparente y la profundidad del suelo.
Fuente: *Elaboración propia.*

4.1.2 Contenido de agua del suelo

En los primeros 0,30 m de profundidad (Tabla 4.2) el contenido de agua en el suelo (CAS) es adecuado para este tipo de suelo al compararse con lo que plantea Huerres y Carraballo (1996), en un análisis del consumo de agua del cultivo han demostrado que la planta extrae más de 85% de sus necesidades hídricas de la capa del suelo hasta 0,30 m de profundidad. Bajo este comportamiento el agua disponible es fácilmente utilizable por el cultivo y permite prolongar el intervalo de riego de 4 a 6 días.

Tabla 4.2: Valores de capacidad de campo a las 72 horas.

Profundidad (cm)	MPF	MPF+MSH	MSH	MPF+MSS	MSS	% CAS (bss)
0-10	18,0	133,5	115,5	113,0	95,0	26,62
10- 20	18,0	148,0	130,0	124,5	106,5	26,55
20-30	19,5	115,0	95,5	100,0	80,5	24,59
30-40	18,0	140,0	122,0	121,5	103,5	21,64
40-50	14,5	145,0	130,5	125,0	110,5	20,83
50-60	18,0	145,0	127,0	124,0	106,0	23,86
60-70	14,5	141,0	126,5	119,5	105,0	23,76
70-80	17,5	115,0	97,5	100,0	82,5	23,08
80-90	17,5	142,5	125,0	123,5	106,0	21,47
90-100	18,0	147,5	129,5	128,5	110,5	20,54

Nota: MPF es la masa del pesafiltro; MSH es la masa del suelo húmedo; MSS es la masa del suelo seco. % CAS Contenido de agua en el suelo basa al suelo seco.

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 4.2 se puede apreciar la estabilidad del contenido del agua en el suelo a distintas profundidades del perfil. Este resultado conjugado con los valores promedio de evaporación real total del cultivo de la cebolla en las condiciones de Cuba, según Huerres y Carraballo (1996) oscilan, entres 250 - 300 mm en siembra directas, en dependencia de las condiciones climáticas.

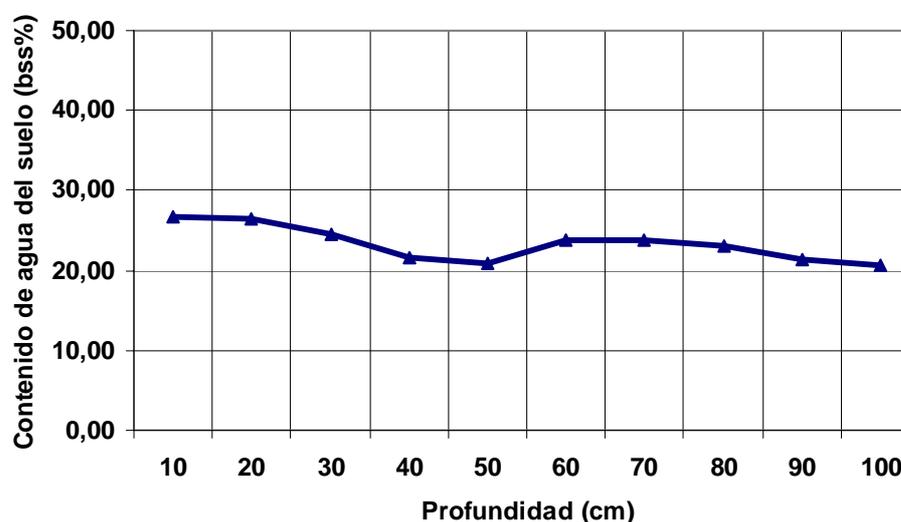


Figura 4.2: Representación esquemática de la capacidad de campo hasta un metro de profundidad del perfil del suelo. Fuente: *Elaboración propia*

4.2 Avance del frente de agua

En la tabla 4.3 se presentan los valores promedios del avance del frente de humedecimiento en las dos variantes de riego intermitente y la variante de riego

continuo correspondientes a siete pruebas de riego realizadas con un caudal de diseño promedio de 0,416 l/s, estimado a partir de una carga hidráulica promedio de 3,7 cm sobre la cresta del vertedor. Los gastos medios (l/s) utilizados durante el experimento a partir de la transformación de la unidad lineal (cm) y las mediciones del tirante en el vertedor se mantuvieron entre 0,388 a 0,441 (l/s) como se representa en la figura 4.3 estos valores coinciden con investigaciones realizadas por Rodríguez y Santana, (2003) y Santana, (2006). Esto confirma que los caudales utilizados para las condiciones referidas son adecuados.

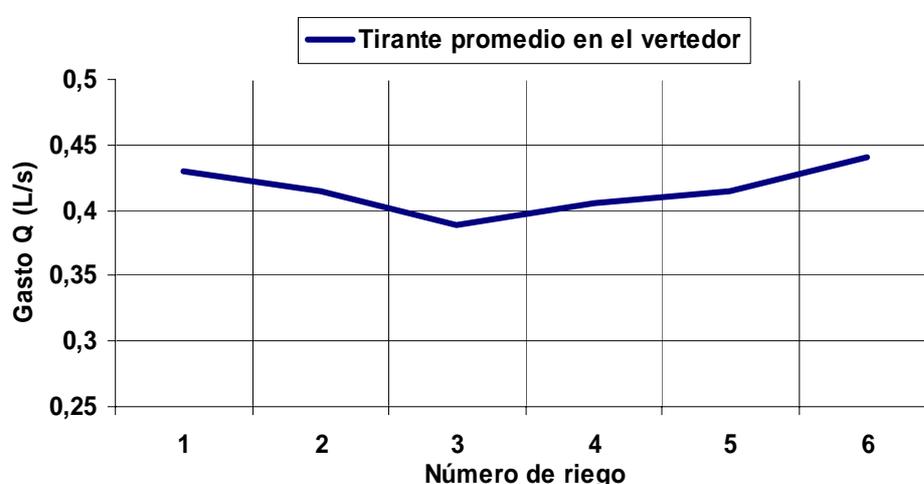


Figura 4.3: Gastos medio en L/s a partir de la lectura del vertedor durante los siete eventos de riego.
Fuente: *Elaboración propia*

En el presente estudio como se observa en la tabla 4.4 y en la figura 4.4 la utilización del riego intermitente con tiempos variables supera al riego tradicional, la variante II de 75,4, 107,3 y 125,4 segundos, respectivamente es posible reducir en 1,76 veces el tiempo final de avance respecto al riego con flujo continuo. La variante III con tiempos variables de 53,5, 96,5 y 112,8 segundo, respectivamente donde se reduce el tiempo en 1,95 veces con respecto al testigo. En el caso de la variante III supera a la variante II en 1,11 veces por lo que podemos afirmar que el uso del calcetín como accesorio reduce la energía cinética del agua a pesar de tener la tubería la misma capacidad de descarga por compuertas activas y aprovechar el máximo caudal no erosivo.

Tabla 4.4: Tiempo promedio de avance del agua durante el riego

Estación	Tiempo de Avance (s)						
	Testigo	Con Calcetín y tres ciclos de riego			Sin Calcetín y tres ciclos de riego		
Distancia (m)	T1	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	0	0	0	0	0	0	0
5	38,5	26,1	23,2	22	17,2	18,9	17,8
10	123,5	53,2	49,2	38,4	36,1	34,5	35,3
15	156,1	75,4	64,7	59,6	53,5	52,4	52
20	178,1		85,3	81,3		79,8	78,6
25	206		107,3	99,6		86,5	84,2
30	221,07			125,4			112,8

Nota: T1, T2 y T3 son los tiempos de ciclo variables. Fuente: Elaboración propia

La velocidad promedio durante los siete riegos fue de 0,13 m/s para la variante I, de 0,23 m/s para la variante II y de 0.26 m/s para la variante III. Los valores obtenidos en la variante I y II se corresponden con la velocidad permisible, la cual se acepta internacionalmente en el rango de 0,10 – 0,25 m/s según Rodríguez y Santana, (2003), Santana, (2006) y Pacheco *et al*; (2006). Esto confirma que los caudales utilizados para estas dos variantes son adecuadas.

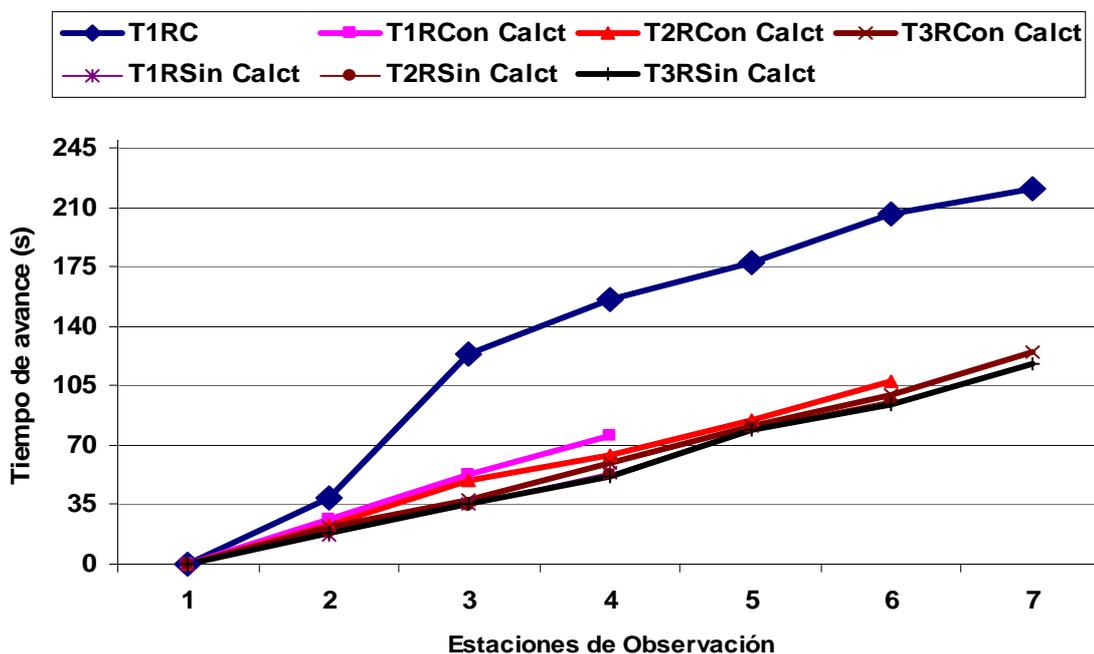


Figura 4.4: Representación esquemática del avance del frente de agua. Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Escurrimiento superficial y producción de sedimento

La mayor lámina de escurrimiento como promedio la alcanzó la variante I con pérdidas de 2,04 litros de agua por cada metro cuadrado que riega, que equivale a 20,4 m³/ha

como se muestra en la tabla 4.5 la variante I supera en $0,14 \text{ l/m}^2$ ($1,4 \text{ m}^3/\text{ha}$) veces a la variante III y esta $0,9 \text{ l/m}^2$ ($9 \text{ m}^3/\text{ha}$) a la variante II que es la de mejor resultado. La mayor pérdida de agua durante el ciclo del cultivo está en la variante I con $143,8 \text{ m}^3/\text{ha}$. La variante II está en el orden de $48,9 \%$ con respecto a las pérdidas totales del testigo y el $52,5\%$ de las pérdidas totales de la variante III. Por lo que el calcetín reduce la velocidad de riego y aumenta la eficiencia del mismo.

Tabla 4.5: Lámina de escurrimiento (l/m^2) de las tres variantes en estudio

Tratamiento	Número de riegos							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
Testigo	2,28	2,12	2,01	2,06	1,93	1,98	1,89	2,04
Con Calcetín	1,58	1,0	0,92	0,89	0,85	0,88	0,86	1,0
Sin Calcetín	2,08	1,76	1,80	1,72	1,72	2,09	2,13	1,90

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5 se muestra el comportamiento de las pérdidas de agua durante los siete eventos de riego realizados durante el ciclo del cultivo en las parcelas objeto de estudio. Lo anterior demuestra que con el uso del calcetín y el riego intermitente las pérdidas de agua son 2,03 veces menor que el riego tradicional, donde se reducen volúmenes significativos de escurrimiento ($72,9 \text{ m}^3/\text{ha}$), potencialmente más eficiente y evita menores daños externos, como la formación de cárcava fuera de la parcela.

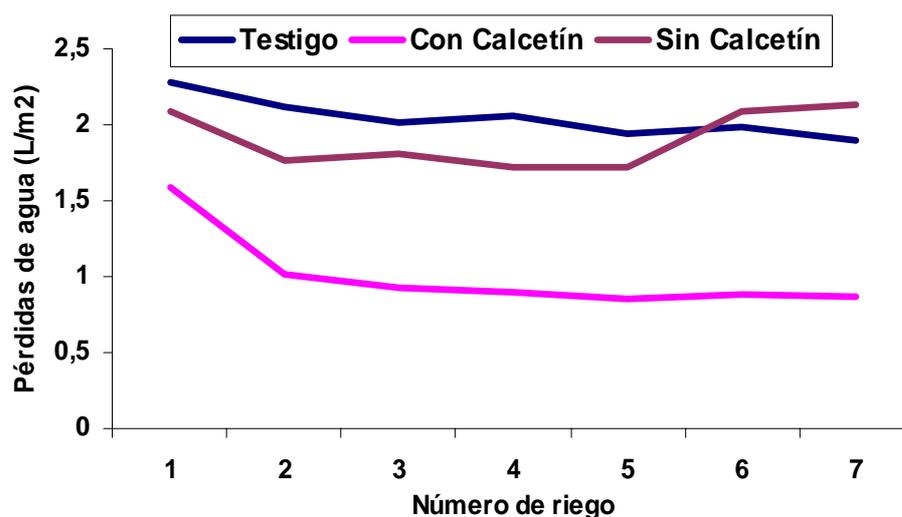


Figura 4.5: Comportamiento de las pérdidas de agua durante los siete eventos de riego.

Fuente: Elaboración propia

La intensidad de escurrimiento está en correspondencia con las pérdidas de agua por escorrentía, la variante III es la de mayor intensidad debido a que los volúmenes de agua colectada en el tiempo son superiores a las otras variantes. Las pérdidas de agua alcanzan una intensidad de 0,68 l/s por cada riego aplicado. Este tratamiento superó 2,19 veces a la variante II y 1,8 veces al riego tradicional (Tabla. 4.6).

Tabla 4.6: Intensidad el escurrimiento (l/s)

Tratamiento	Número de riego							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
Testigo	0,40	0,39	0,36	0,37	0,36	0,36	0,35	0,37
Con Calceñín	0,35	0,34	0,317	0,31	0,29	0,29	0,28	0,31
Sin Calceñín	0,68	0,65	0,64	0,64	0,62	0,75	0,78	0,68

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.6 se puede apreciar el comportamiento de la intensidad durante los siete riegos demostrando que la parcela donde se utilizó el calceñín tuvo mayor nivel de aprovechamiento del agua por las plantas, destacando que en esta variante la intensidad fue disminuyendo con el número de riego a diferencia de la variante III que fue aumentando.

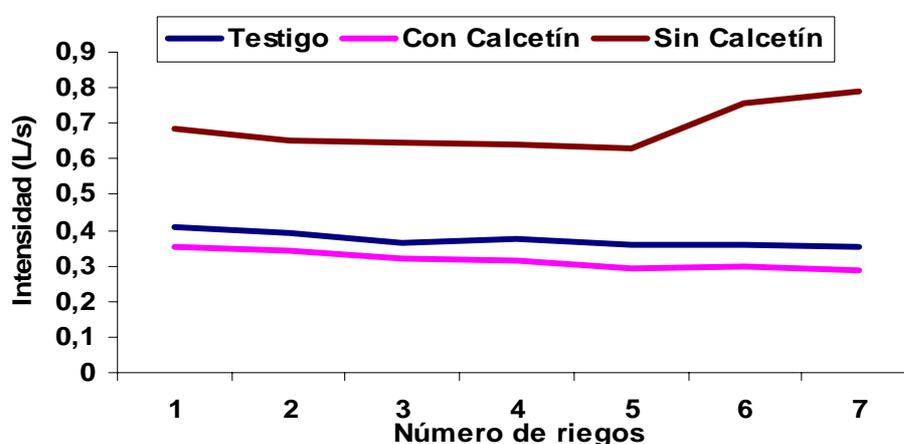


Figura 4.6 Comportamiento de la intensidad durante los siete riegos que se le realizaron al cultivo.
Fuente: Elaboración propia

La mayor producción de sedimento correspondió a la variante III con pérdidas de 223,3 gramos de sedimento (suelo) por cada litro de agua aplicado ($0,223 \text{ t/m}^3$), como se muestra en la tabla 4.7 la variante III supera en 6,74 veces a la variante II, este valor representa el 14% de las pérdidas de la parcela sin calceñín y el 21,5 % de las pérdidas de suelo del riego tradicional.

Tabla. 4.7: Producción de Sedimento g/l

Tratamiento	Número de riegos							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
Testigo	160,6	179,1	162,6	122,8	130,2	153,7	168,4	153,9
Con Calcetín	29,2	41,7	31,8	28,16	42,6	27,09	30,94	33,1
Sin Calcetín	263,8	228,1	168,5	212,0	167,3	297,9	225,6	223,3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.7 se puede apreciar gráficamente la diferencia en la producción de sedimento. La variante II manifestó mayor estabilidad en los siete eventos de riego efectuado durante el ciclo del cultivo.

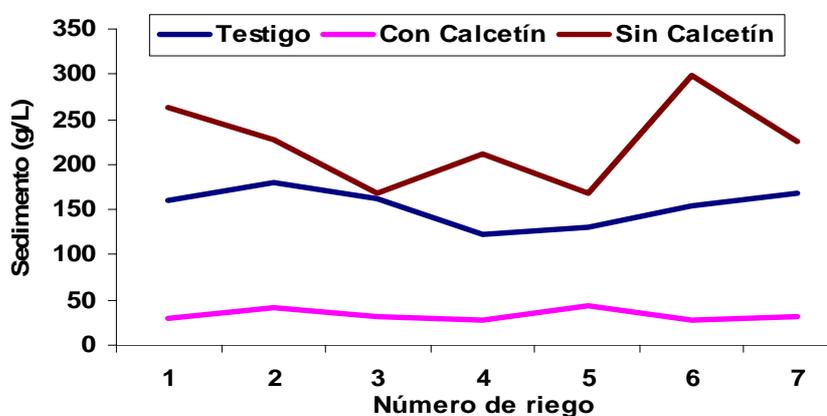


Figura 4.7: Producción de sedimento en los siete eventos de riego. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Evaluación de las variables morfométricas durante el ciclo del cultivo

En la tabla 4.8 se muestra el comportamiento del diámetro del seudotallo durante todo el ciclo del cultivo donde existieron diferencias significativas entre las tres variantes en estudio durante las cinco observaciones, donde se destaca el comportamiento promedio de la variante II que superó en 1,8 veces a las otras dos variantes. Los resultados representados en esta tabla están acordes con las características de la variedad Caribe 71 que describe Ronda, (2004) en investigaciones realizadas en la estación experimental del INIFAT de Banao.

El coeficiente de variación se mantuvo entre el rango permisible para el tipo de experimento según Fuentes *et al*; (1999) el coeficiente de variabilidad en condiciones experimentales de campo debe ser inferior a 20%, la que representa una estimación del indicador muy bueno, que nos permite eliminar la dimensionalidad de las variables y

tener en cuenta la proporción existente entre la media y la desviación típica de una forma confiable. Por lo que podemos apreciar que en todas las observaciones este indicador se mantuvo dentro del rango permisible.

Tabla 4.8: Comportamiento del diámetro del seudotallo (cm)

Tratamiento	Fecha de las observaciones					Media
	02/01/2011	17/01/2011	01/02/2011	16/02/2011	03/03/2011	
Testigo	0,37 b	0,47 b	0,57 b	0,46 b	0,72 b	0,52
Con Calcetín	0,58 a	0,88 a	0,92 a	0,95 a	1,52 a	0,97
Sin Calcetín	0,36 b	0,53 b	0,56 b	0,57 c	0,64 b	0,53
CV	16,9	12,8	12,5	15	9,9	

Letras no comunes en cada tratamiento difieren según la prueba paramétrica de *Duncan* y *HDS de Tukey* ($p < 0.05$). CV.; Coeficiente de variabilidad.

Para la observación del 02/01 y 16/02 al existir homogeneidad de varianza se realizó una prueba no paramétrica *Mann-Whiney*. Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados presentados en la tabla 4.9 muestran el comportamiento cualitativo de las variables, la variante II se cataloga como sobresaliente donde la media del tratamiento es superior a la media general de la unidad experimental más el error estándar, mientras que las dos variantes restantes catalogados de malo, por que la media particular de estas parcelas es menor que la media general menos el error estándar.

Tabla 4.9: Carácter cualitativo de la variable Diámetro del seudotallo

Tratamiento	Fecha de las observaciones				
	02/01/2011	17/01/2011	01/02/2011	16/02/2011	03/03/2011
Testigo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo
Con Calcetín	Sobresaliente	Sobresaliente	Sobresaliente	Sobresaliente	Sobresaliente
Sin Calcetín	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 4.8 se observa que la variante II muestra un aumento del diámetro del seudotallo durante el ciclo del cultivo teniendo un incremento marcado a partir de la cuarta observación. Según plantea Muños y Prats, (2004) y Ronda (2004), existe una estrecha relación entre el diámetro del seudotallo y el diámetro del bulbo en el caso de la variedad Caribe 71 el diámetro del seudotallo influye en el 50% de los rendimientos.

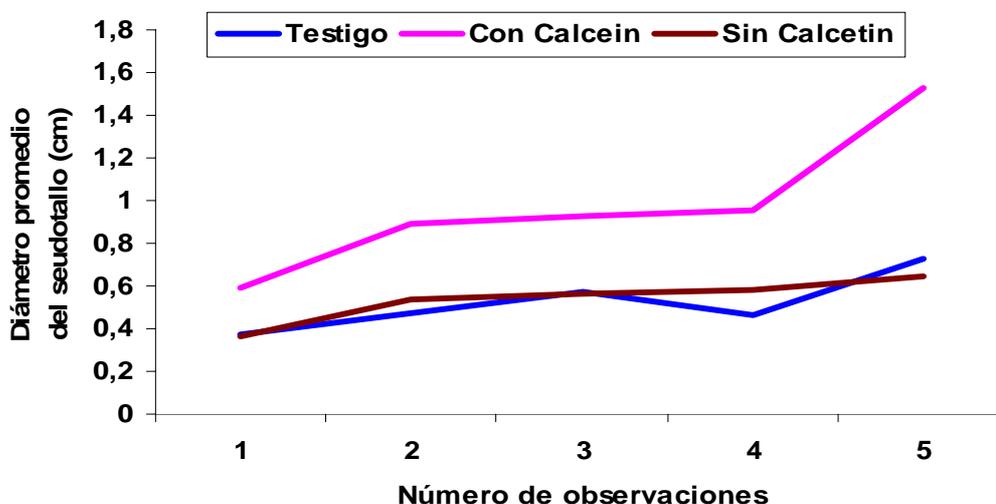


Figura 4.8: comportamiento del diámetro delseudotallo durante el ciclo del cultivo.

Fuente: *Elaboración propia.*

En la tabla 4.10 se puede apreciar que al evaluar la altura de la hoja como indicador, la variante II donde se utilizó el calcetín antierosivo se alcanzaron los mayores valores, existiendo diferencias significativas en todas las observaciones realizadas durante el ciclo del cultivo. En la variante I y III no existió diferencia significativa en la tercera observación. La variante II superó a la variante I como promedio en las cinco observaciones 1,28 veces y a la variante III en 1,19 veces.

Tabla 4.10 Altura de la hoja principal de la planta (cm)

Tratamiento	Fecha de las observaciones					Media
	02/01/2011	17/01/2011	01/02/2011	16/02/2011	03/03/2011	
Testigo	20,05 b	18,37 b	21,10 b	33,94 b	34,13 b	25,72
Con Calceín	26,97 a	20,56 a	22,54 a	37,91 a	56,78 a	32,95
Sin Calceín	21,56 c	18,27 b	20,89 b	35,91 c	35,81 b	27,49
CV	17,3	10,6	11,9	15,1	16,4	

Letras no comunes en cada tratamiento difieren según la prueba paramétrica de Duncan y HDS de Tukey ($p < 0.05$). CV.; Coeficiente de variabilidad. Fuente: *Elaboración propia*

Al analizar los caracteres cualitativos (Tabla 4.11) se pudo determinar que en las cinco observaciones este indicador se comportó en la variante II, cuatro veces como sobresaliente, es decir la media particular de la altura de la hoja en este tratamiento fue superior a la media general de la unidad experimental más el error estándar; en la observación que fue catalogado como bueno esta media particular fue superior o igual a la media general del experimento, pero menor que la media general más el error

estándar. En la variante I este indicador se mantuvo durante todo el ciclo del cultivo la categoría de malo. La variante I su comportamiento fue similar a la variante III solo que la cuarta observación alcanzó la categoría de bueno.

Tabla 4.11: Carácter cualitativo de la variable Altura de la planta

Tratamiento	Fecha de las observaciones				
	02/01/2011	17/01/2011	01/02/2011	16/02/2011	03/03/2011
Testigo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo
Con Calceñín	Sobresaliente	Sobresaliente	Sobresaliente	Bueno	Sobresaliente
Sin Calceñín	Malo	Malo	Malo	Bueno	Malo

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.9 se puede apreciar la mayor diferencia en la quinta observación, la variante II, supera en la altura de la planta a la variante I en 1,66 veces y a la variante III en 1,58 veces, por lo que podemos afirmar que el tratamiento donde se utilizó el calceñín antierosivo la planta cubrió en mayor por ciento sus necesidades hídricas, lo cual se revierte en un mayor crecimiento del cultivo.

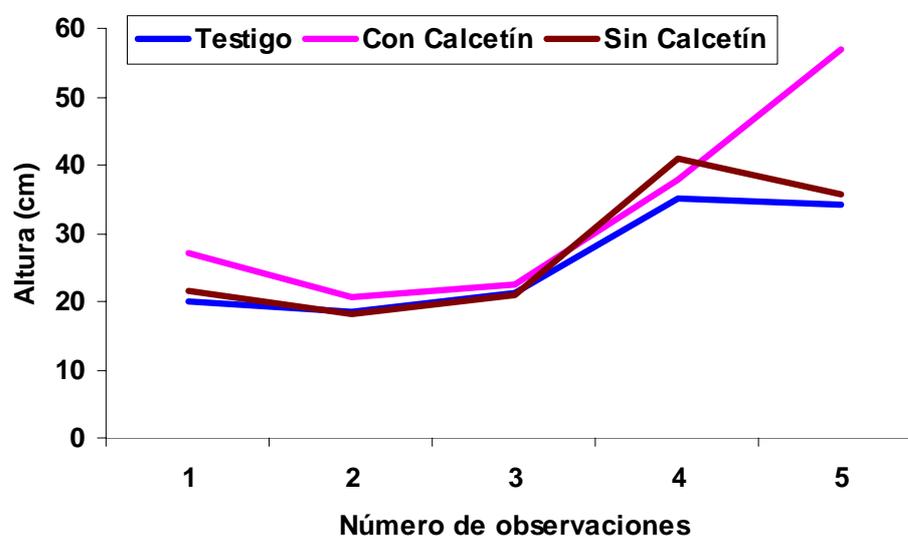


Figura 4.9: Comportamiento de la altura de la planta durante el desarrollo del cultivo en las tres variantes en estudio. Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Variables post-cosecha

En la tabla 4.12 se presentan los resultados de las variables post-cosecha evaluadas existiendo diferencias significativas entre la variante II y los restantes tratamientos, en la parcela donde se utilizó el calceñín, el diámetro del bulbo fue hasta 1,3 veces superior a la parcela de riego tradicional y a la variante sin calceñín (Fig.4.10). También existieron

diferencias significativas bajo estas condiciones en el peso promedio del bulbo, en la variante II se observó un incremento del peso promedio del bulbo entre 0,05 a 0,06 Kg por bulbo.

Tabla 4.12: Variables post-cosecha

Tratamiento	Diámetro del bulbo (cm)	Peso del bulbo (kg)	Rendto (t/ha)
Testigo	2,64 b	0,06 b	10,77
Con Calcetín	3,52 a	0,12 a	16,8
Sin Calcetín	2,58 b	0,05 b	11,25
CV	16,4	14,7	

Letras no comunes en cada tratamiento difieren según la prueba paramétrica de Duncan y HDS de Tukey. Rendto: rendimiento.

Fuente: Elaboración propia

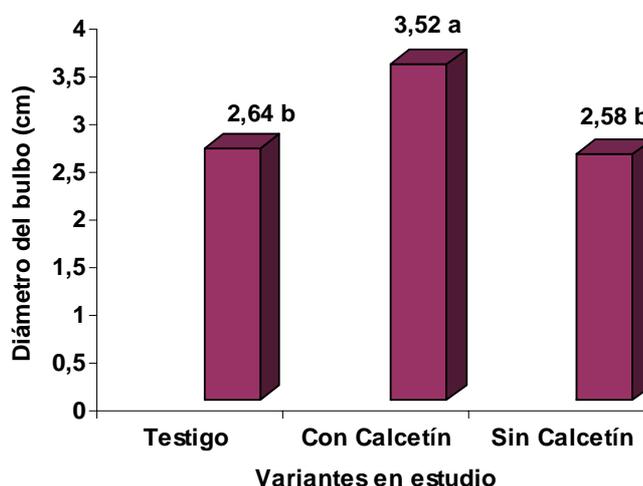


Figura 4.10: Comportamiento del diámetro del bulbo en la cosecha. Fuente: Elaboración propia

Los mayores rendimientos del cultivo se obtuvieron en la variante II donde se utilizó la modalidad de riego intermitente con el uso del calcetín antierosivo, que representó el 43,27 % del total del rendimiento, superó a las variantes restantes en un rango de 5,55 a 6,03 t/ha.

En la variante II superó la media histórica en 30 años de los rendimientos obtenidos en Banao (10,32 t/ha) en el sector más estable. Esta media histórica es a partir de las producciones acopiadas y registradas en la Empresa Cultivos Varios Banao.

Los resultados presentados en la tabla 4.13 indican que en el tratamiento dos, donde se empleó el calcetín, se obtienen un rendimiento catalogado de sobresaliente y el resto de

los tratamientos de malo. Estos resultados están acorde con los obtenidos en las variables morfométricas evaluadas del cultivo durante todo el experimento, alcanzando la categoría de sobresaliente donde en las variables post cosecha la media fue superior a la media general de la unidad experimental más el error estándar.

Tabla 4.13: Carácter cualitativo de las variables post cosecha

Tratamiento	Diámetro del bulbo (cm)	Peso del bulbo (kg)
Testigo	Malo	Malo
Con Calcetín	Sobresaliente	Sobresaliente
Sin Calcetín	Malo	Malo

Fuente: Elaboración propia

4.4 Valoración económica

La determinación del costo total implicado para una hectárea nos permitió la posibilidad de analizar los resultados desde el punto de vista económico, a partir de los elementos de costo involucrados para los distintos tratamientos durante el ciclo del cultivo en estudio. Los rendimientos alcanzados no precisaron de extraordinarios recursos, lográndose ganancias y rentabilidad sin alteraciones de precios en ninguno de los tratamientos. De todas las variantes de cultivo evaluadas incluyendo el tratamiento testigo tuvieron resultados satisfactorios, ya que en todos los casos se obtuvieron ganancias. Desde el punto de vista de la rentabilidad, todos los tratamientos fueron rentables, sin embargo el máximo valor lo alcanzó el tratamiento donde se utilizó el Calcetín antierosivo, como se puede apreciar en la tabla 4.14, destacándose la variante II donde la rentabilidad alcanzó el valor de 118,6 % y que solo necesitó invertir 0,08 pesos para obtener un peso de producción lo cual está dado, fundamentalmente, por estar éstos favorecidos por las producciones obtenidas.

Tabla 4.14: Resultados de la valoración económica

Tratamientos	Costo de la producción (MN)	Producción (t/ha)	Valor de la producción (MN)	Ganancia (MN)	Índice de Rentabilidad (%)	Costo por peso (MN)
Testigo	5132.11	10,77	42649,2	37517,09	73,1	0,13
Con Calcetín	5171.58	16,8	66528	61356,4	118,6	0,08
Sin Calcetín	5135.17	11,25	44550	39417,8	76,7	0,12

Precio de venta de cebolla en rama a acopio 3960 pesos la tonelada el en el año en estudio.

MN: moneda nacional. Fuente: Elaboración propia



Conclusiones

5. Conclusiones

- Se acepta la hipótesis que con el uso del Calcetín antierosivo como accesorio de la tecnología de riego intermitente asociado al cultivo de la cebolla, se logra incrementar los rendimientos y un uso más racional del agua y el suelo.
- El tratamiento donde se utilizó el riego intermitente y el Calcetín antierosivo nos permitió corroborar la superioridad con respecto al riego con flujo continuo, mejorando los patrones de humedecimiento del surco y los indicadores morfométricos del cultivo.
- El Calcetín antierosivo como accesorio para el riego intermitente diseñado y evaluado, demostró su funcionalidad. Siendo posible su construcción con los recursos locales.
- Las propiedades hidrofísicas del suelo en el área de estudio corresponden con las necesidades del cultivo y la capa activa del mismo, para alcanzar su máximo potencial de rendimiento.



Recomendaciones

6. Recomendaciones

- Continuar el estudio sobre el riego intermitente, con el objetivo de generalizar esta tecnología en la localidad y crear una fábrica a pequeña escala de Calcetines antierosivos, para mejorar los parámetros de diseño del riego por surco.
- Utilizar y generalizar las herramientas propuestas en esta investigación, en ecosistemas frágiles para mejorar los resultados productivos y disminuir el impacto ambiental por los métodos tradicionales.



Referencias Bibliográficas

7. Referencias Bibliográficas

- BARREIRO, C.: *Estudio de diferentes manejos del agua (stress hídrico) en el cultivo del boniato (Ipomoea batata L) y su influencia en la incidencia de tetuán (Cylas formicarius Fab.)*. Informe final proyecto nacional CITMA 002-0008. Universidad de Ciego de Ávila Cuba. (2000).
- BETANCOURT, P.; OROPEZA, J.; FIGUEROA, B.; ORDAZ, V. y ORTIZ, C. *Pérdidas de Suelo y Potencial Hidrológico en parcelas con Cobertura Vegetativa de Especies Forrajeras. TIERRA Latinoamericana. Universidad Autónoma de Chipango, México, julio 2004, vol. 18, nº 003, pp. 263-275.*
- CÁCERES C, K., *Diseño y construcción de un dispositivo de control para la aplicación del riego intermitente. Tesis de Maestría.* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.1999.h 108.
- CARBAJAL LL, CARLOS M. *Metodología para el mejoramiento del uso del agua de riego empleando el sistema de riego intermitente. Tesis de Maestría.* Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. 2004. 12-15 p.
- CAROLINA, M.; CATIGLIONI, M.; PAZ, J.; WILSON, M. y OSZUS, J. *Propiedades hidrológicas edáficas bajo diferentes secuencias de cultivos en siembra directa.* Barcelona, España: INTA- EEA Panamá, 2009.
- CITMA. *Información para el desarrollo, El mundo en hechos y cifras. Riego y drenaje Estado actual y tendencias mundiales.* La Habana, Cuba: Editorial Academia, 1999. pp. 1-66.
- FAO. *El agua y la seguridad alimentaria* [en línea]. Italia, 14 abril 2004 [Consulta: 20 febrero 2005]. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/j0083s/j0083s00.pdf>.
- FUENTES, FELICITA; ABREU, E.; FERNÁNDEZ, E. Y CASTELLANOS MAGALY.: *Experimentación agrícola.* 2da Ed. Félix Varela. El Vedado. Ciudad de La Habana, Cuba. 1999.
- GALVÁN, G. *Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de la cebolla (Allium cepa L).* Monte Video, Uruguay: Universidad de la República- Facultad de Agronomía, 2008. p. 42.
- GARBI, M. *El cultivo de la cebolla.* Argentina: Universidad Nacional de Luján-Departamento de Tecnología, 2004. p. 12.
- GONZÁLEZ, P. *Introducción al riego y drenaje.* 1ra ed. La Habana, Cuba: Convenio Bilateral Cuba- Venezuela IIRD, 2008. pp. 1- 66.
- HERNÁNDEZ, A.; MORELL, F.; ASCANIO, M.; BORGES, Y.; MORALES, M. y YONG, A. *Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos éutricos) de la provincia La Habana. Cultivos Tropicales,* mayo 2006, vol. 2, nº 27, p. 53.

- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J. M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUIZ, J.; JAIMEZ, E.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.; GONZÁLEZ, J. E.; ORELLANA, ROSA.; PANEQUE, J. y MESA, Á. *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*. Primera ed. Ciudad de La Habana: AGRINFON Ministerio de la Agricultura, 1999. p. 64. ISBN 959-246-022-1.
- HERNÁNDEZ, E. y HERNÁNDEZ S. *Reservas económicas de la preparación del suelo*. Revista Cañaveral. 5(1): 8 - 11). 1999.
- HUERRE, C. y CARRABALLO, N. *Horticultura*. Segunda ed. México: Pueblo y Educación, 1996. p. 140.
- IPGRI. *Descriptor del Allium ssp*. Roma, Italia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Programa Europeo de Cooperación para las Redes de Recursos Genéticos de Cultivos (ECP/GR), Centro Asiático de Investigación y Desarrollo Vegetal, Taiwán, 2001, nº 1.
- ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. *Principios y Aplicaciones del Riego*. 2da ed. Barcelona, España: Reverté, S.A, 1965. pp. 110-115.
- LARDIZABAL, R. *El cultivo de la cebolla-Manual de producción*. Primera ed. MCA, Honduras: Entrenamiento y Desarrollo Agrícola, 2007. p. 38.
- LEVINE, E. y WASHBURME, J. *Investigación de Suelo: una investigación de aprendizaje de globo*. 1ra ed. NASA/Centro Godbard de Vuelo Espaciales/Grenbelt, Maryland. USA: GLOBE, 1997. p. 25.
- LORENZO, E. (). *Obtención de semilla botánica de cebolla multiplicadora (Allium cepa variedad aggregatum, Donn.)*. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad de Ciego de Ávila. 2006. p 85
- MADRIGALES, N. R. *Evaluación de tres métodos de riego por superficie durante la etapa de elongación de la caña de azúcar (Saccharum sp) bajo condiciones de Tiquisate*, Escuintla. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Instituto de investigaciones agronómicas, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. h. 123.
- MARTÍN, N. y DURAN, J. *El Suelo y su Fertilidad*. 1ra ed. La Habana, Cuba: UNAH, 2008. p. 189.
- MORÁBITO, J. A. *Desempeño del riego por superficie en el área del río Mendoza, eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento en un marco sustentable*. Tesis de Maestría. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencia Agrarias, 2005. hh. 12-28.
- MORELL, F.; HERNÁNDEZ, A. y FERNÁNDEZ, F. *Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por la influencia antrópica y su*

- respuesta agroproductiva al mejoramiento. Tesis de Maestría.* La Habana, Cuba: INCA, 2006. h. 104.
- MUÑOZ, L. y PRATS, A. Caribe 71, *Una variedad de cebolla para clima tropical. Cultivos Tropicales*, julio 2004, vol. 25, nº 3, pp. 59-62.
- NARVATE, R. y HUACHOS, R. *Necesidades de agua y evaluación de los sistemas de riego intermitente y continuo en el cultivo de Brocoli.* Universidad Nacional Agraria La Molina: UNALM, 2007, nº 4
- OSP Unidad de apoyo Técnico para el Saneamiento Básico de Comunidades Rurales. *Manual de Diseño de Galerías Filtrantes.* 1ra ed. Lima, Perú: OSP/CEPIS/0.2 61/UNATSABAR, 2002. p. 86.
- PACHECO, J.; ALONSO, N.; PUJOL, P. y CAMEJO, E. *Riego y Drenaje.* Primera ed. La Habana, Cuba: Félix Varela, 1995.
- PACHECO, J.; ALONSO, N.; PUJOL, P. y CAMEJO, E. *Riego y Drenaje.* Segunda ed. La Habana, Cuba: Félix Varela, 2006. p. 170. ISBN 959-258-999-2.
- PÉREZ, R. y CID, G. *El Riego Superficial.* 1ra ed. La Habana, Cuba: Convenio Bilateral Cuba - Venezuela. IIRD, 2008. p. 49.
- PÉREZ, R.: *Modernización de las formas de entrega de agua a los surcos en el riego superficial.* Proyecto 22-17. Dpto. Investigaciones, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje del Ministerio de la Agricultura. C. Habana. 2004
- PYR ARGENTINA. *Riego por Caudal Discontinuo Hoja Técnica* [en línea]. Av. Roque Saenz Peña 974 9º A, CP (1035) Ciudad de Buenos Aires. Argentina: PyR Argentina S.A, 15 abril 2008 [Consulta: 11 marzo 2011]. Disponible en: <http://www.prsurge.com/espanol>.
- QUINTERO, E.; GIL, V.; GUZMÁN, P. y SAUCEDO, L. *Banco de germoplasma de frijol del CIAP: fuente de resistencia a la Roya.* Facultad de Ciencias Agropecuarias (Workshop Cuba-Bélgica). Santa Clara, Cuba: UCLV, 2004.
- RODRÍGUEZ, M. y SANTANA, M. *Evaluación de la modalidad de riego intermitente en el cultivo de la cebolla (Allium cepa L.) en Banao, Sancti Spíritus. Trabajo de Diploma.* UNISS, Cuba: Departamento de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", 2003. h. 67.
- RONDA, R. Producción de semillas de cebolla en condiciones de Cuba. *Tesis de Maestría.* Ciego de Ávila, Cuba: UNICA, 2004. h. 66.
- ROQUÉ, C. *Caudal discontinuo, la ultima vanguardia en la técnica del riego* [en línea]. Argentina, 10 marzo 2009 [Consulta: 15 febrero 2011]. Disponible en: <http://www.prsurge.com/espanol/Riego/intermitente.html>.

- SALGADO, E. *Relación-Suelo-Agua-Planta*. Segunda ed. INSTITUTUTO DE INVESTIGACIONES DE EL RIEGO Y DRENAJE Convenio Bilateral Cuba - Venezuela: Propiedad Intelectual, 2002. p. 122. ISBN 1- 0 -2 -3 -6- 0.
- SANTANA, M. *Tecnología sostenible para el mejoramiento del riego por surcos y protección del suelo en el cultivo de la cebolla (Allium cepa, L.) en condiciones de premontaña*. Tesis de Doctorado. UNICA: Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, 2006. h. 126.
- SHAFIQ, M.; HASSAN, A. y AHMAD, S. *Soil physical properties as influenced by induced compaction under laboratory and field conditions*. 1ra ed. USA: Soil and Tillage Research, 1994. pp. 13-26.
- VIERAS, R. y RODRÍGUEZ, M. *Caracterización socio- productiva del modelo de agricultura existente en el sistema cebollero Banao*. Tesis de Diploma. Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez" UNISS Departamento de Ciencias Agropecuarias: UNISS, 2006. h. 86.



Opinión del tutor

Opinión del tutor:

Título: Desarrollo de una tecnología para el mejoramiento del riego por surco asociado al cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.), en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.

En opción al título académico de Ingeniero Agrónomo.

Autor: Freddy Alonso de la Paz

Tutor: MSc. Ing. Manuel Rodríguez González

En esta tesis se aborda un tema de sumo interés para el manejo del agua y suelo asociado al cultivo de la cebolla en Banao, que constituye una zona paisajística, biogeográfica y ecológica transicional de gran importancia para la región central de Cuba. Esta comunidad que es netamente agrícola, se caracteriza por una agricultura intensiva con alto impacto en la estabilidad del agroecosistema, con mayores incidencias en la sobre explotación de la cuenca hidrográfica y el manejo del recurso suelo.

La degradación de los suelos es uno de los problemas ambientales más apremiantes que enfrenta la provincia y ello se debe a la contradicción entre el agua y el suelo, donde el antrópismo, acelera su efecto. Para lograr el abasto de materias primas y alimentos ante las necesidades crecientes de los espirituanos es un reto de las generaciones de hoy. Trabajar en armonía con el medio ambiente, es la clave para asegurar sostenibilidad económica, productiva y medioambiental.

El aspirante para realizar este trabajo realiza un diseño acorde a los objetivos propuestos. Utilizando los conocimientos adquiridos en los diferentes años de estudio, aborda aspectos teóricos, prácticos y es evidente el esfuerzo realizado. Demostrando disciplina, nivel científico alcanzado, además de compromiso y sentido de pertenecía con la investigación, así como un alto grado de independencia. Es importante señalar que el estudiante se mostró receptivo ante todas las críticas efectuadas a lo largo del trabajo.

Realiza una revisión bibliográfica actualizada y pertinente. Las conclusiones a las que se arriban son escritas de forma clara, consecuente con los resultados alcanzados. El

informe presentado es de buena calidad, auxiliándose de tablas y gráficos que facilitan la comprensión del mismo.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y que el trabajo reúne todos los requisitos para ser defendido como Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, recomendamos al tribunal sea otorgada la calificación de excelente.

MSc. Ing. Manuel Rodríguez González.

Tutor