



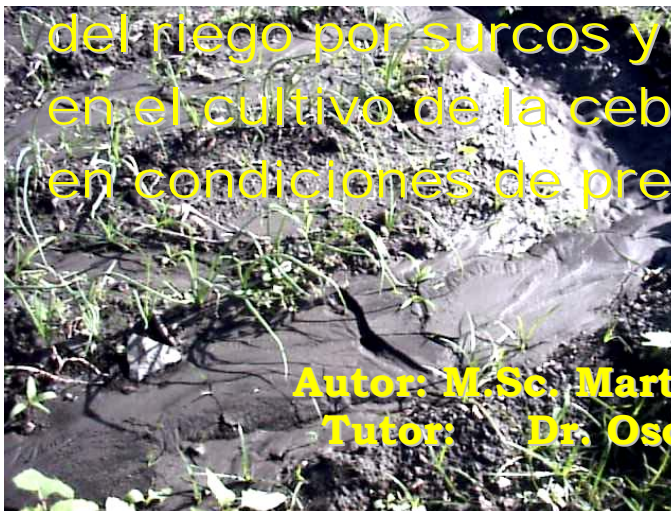
UNIVERSIDAD DE CIEGO DE AVILA

Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios Hidrotécnicos



CENTRO UNIVERSITARIO DE SANCTI SPÍRITUS
"JOSÉ MARTÍ PÉREZ"
Departamento Agropecuario

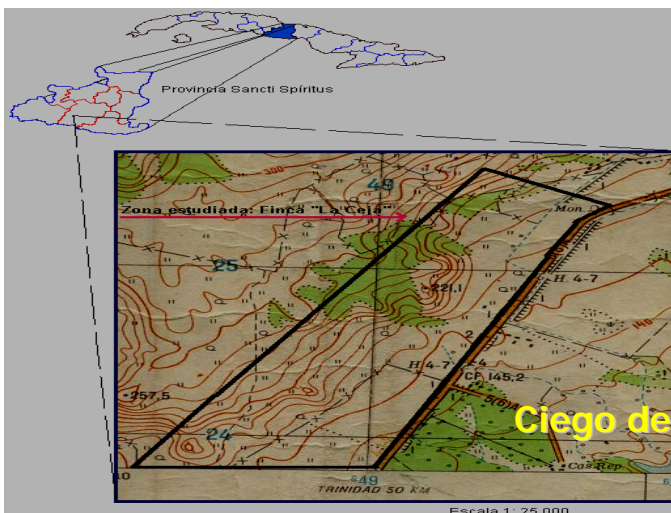
Tecnología sostenible para el mejoramiento



del riego por surcos y protección del suelo
en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.)
en condiciones de premontaña.

Autor: M.Sc. Martín Santana Sotolongo
Tutor: Dr. Oscar N. Brown Manrique

Tesis presentada en opción al grado científico de
Doctor en Ciencias Técnicas Agrícola



Agradecimiento

A los Doctores Eddy Camejo Barreiros, Albi Mujica, Ricardo Dueñas y Norberto Alonso que me iniciaron en esta materia a través de la enseñanza y la impartición de la asignatura de Riego y Drenaje.

Al Doctor Juan Pacheco Seguí, tutor de las Investigaciones que antecedieron esta propuesta y de mi informe de maestrante, consejero permanente e imprescindible de mis pasos profesionales.

Al Doctor Oscar Nemesio Brown Manrique, tutor y participante directo de las investigaciones y la elaboración del informe final, con excesivas horas de dedicación incondicional al trabajo.

A los colegas del IIRD, especialmente a su director, Dr. Angel Reinaldo Rey.

A los compañeros del departamento de Agua y Suelos de la UNAH, especialmente a los doctores Wilfredo y José Manuel Febles

A todos aquellos que han colaborado en el desarrollo de este trabajo; en especial a mis compañeros del Departamento Agropecuario del CUSS, a los miembros del Centro de Estudios Hidrotécnicos de la UNICA y a los organismos del territorio de Sancti spíritus.

A Fidel Castro Ruz (no hay que decir por qué)

Dedicatoria

A mi esposa Aleida.

A mis hijos Mitchell y Mairelys.

A mis padres Adán y Juana.

A mis hermanos Marta, Porfirio, Aleida, Benedicta, María del Carmen y Mireya.

A todos mis sobrinos.

No hay en la tierra más vía honrada que la que uno se abre con sus propios brazos

José Martí

SINTESIS

Con el desarrollo del primer taller nacional de *Alliaceas* en el año 1993, convocado por el departamento agropecuario del Centro Universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” se dio inicio a un programa de mejoramiento del riego superficial aplicado al cultivo de la cebolla (*Allium cepa. L.*) en la localidad de Banao, provincia de Sancti - Spíritus. Este taller reveló el problema relacionado con la erosión hídrica de los suelos debido al mal manejo del riego por surcos .El presente informe resume congruentemente trece años de investigación y abarca la caracterización socioproductiva de la localidad , resultados del estudio físico e hidrodinámico del perfil del suelo, los parámetros de diseño y evaluación del riego por surcos con flujo continuo e intermitente y las medidas de protección de suelo con el empleo de barreras vivas .En los seis capítulos que se ha estructurado su escritura se ofrecen tablas , figuras con un apreciable valor para diseñar la técnica de riego estudiada en condiciones de premontaña, se muestran herramientas y dispositivos alternativos para medir propiedades físicas y mivilizativas de suelo así como del caudal de agua y su distribución intermitente . La unión de estas investigaciones ofrece en un documento único el estudio integrado de la producción de cebolla en esta localidad vinculado a los recursos agua y suelo fundamentalmente, lo que permite una visión en sistema del problema científico planteado y las soluciones propuestas, viéndose reflejado de forma expedita el cumplimiento de los objetivos trazados. El análisis bibliográfico comprendió cultivo, riego por surco y la protección del suelo.

SYNTHESIS

With the development of the first national event of *Alliaceas* in the year 1993, auspiced by the Agricultural Department of Sancti Spíritus's University Center “José Martí Pérez” beginning it was given to a program of improvement of the superficial watering applied to the cultivation of the onion (*Allium cepa,. L.*) in the town of Banao, county of Sancti - Spíritus. This event revealed the problem related with the hydric erosion of the soils due to the wrong handling of the watering for furrows .The present work is the summary of thirteen years of investigation and take the characterization socio productive of the town, results of the physical and hydrodynamic study of soils, the design parameters and evaluation of the watering for furrows with continuous and surge flow and the measures of soils protection with the employment of alive barriers .

ÍNDICE TEMATICO	PAGINA
1. Introducción.	1
2.1. El cultivo de la cebolla.	8
2.1.1. Importancia.	8
2.1.2. Origen y diseminación.	9
2.1.3. Producción.	9
2.1.4. Clasificación taxonómica	9
2.1.5. Botánica.	10
2.1.6. Ecología y Fisiología.	10
2.1.7. Métodos de siembra.	11
2.1.8. Época de Siembra.	11
2.1.9. Manejo de agua.	11
2.2 .Riego superficial.	14
2.2.1. Generalidades.	14
2.2.2. Riego por gravedad.	15
2.2.3. Infiltración.	17
2.2.3.1. Velocidad de infiltración.	18
2.2.4. Modelos matemáticos del riego superficial.	19
2.2.5. Modelos de campo para determinar la infiltración.	25
2.2.5.1. Anillos infiltrómetros.	25
2.2.5.2. Plazoleta de Kashinski.	26
2.2.5.3. Determinación de la velocidad de infiltración del suelo en presencia de un flujo de agua.	26
1.2.6. Riego intermitente.	27
2.2.6.1. Ventajas del riego intermitente.	29
2.2.6.2. Desventajas del sistema	29
2.2.6.3. Dispositivos para riego intermitente.	30
2.3. Erosión del suelo	30
2.4. Medidas de conservación de suelos	38
3. Estudio socioeconómico de Banao.	39
3.1. Ubicación geográfica.	39
3.2. Área agrícola	39
3.3. Población	40
3.4. Sinopsis idiosincrásica.	41
3.5. Cuenca hidrográfica.	42
3.6. Calidad del agua	43
3.7. Implicación de las condiciones climáticas de la zona	43
3.8. Producción organizada de cebolla	45
3.8.1. Composición del sector campesino.	46
3.8.2. Programa de riego	46
3.8.3. Cultura de la cebolla	47
3.8.4. Tamaño de la parcela	48
3.9. Profundidad efectiva del sistema radical	48
3.3.10. Caudal promedio	49
3.11. Geometría del suco	49
3.12. Peso de los bulbos comercializados	50
3.13. Materia seca	51
4. Estudios hidrofísicos e hidrodinámicos del perfil del suelo	54
4.1. Densidad del suelo	54
4.2. Capacidad de campo	58

4.3. Pruebas de avance.	60
4.3.1. Avance del agua en el riego continuo.	61
4.3.1.1. Modelo de avance en el riego continuo.	61
4.3.1.2. Velocidad del agua en el surco en condiciones de flujo continuo.	63
4.3.2. Avance del agua en el riego intermitente.	64
4.4. Determinación de los parámetros de infiltración.	65
4.4.1. Infiltración mediante el método de <i>Kashinski</i> .	65
4.4.2. Infiltración en el riego continuo a partir del avance del agua.	69
4.4.3. Infiltración en el riego intermitente a partir del avance del agua.	70
4.5. Control de la humedad posterior al riego.	71
5. Parámetros de diseño y evaluación del riego.	73
5.1. Diseño de la parcela de riego.	73
5.2. Desarrollo de herramientas gráficas para el diseño.	74
5.3. Dispositivo para el riego intermitente en el cultivo de la cebolla	79
5.3.1. Descripción de los componentes de TDF.	80
5.3.1.1. Tanque de almacenamiento.	80
5.3.1.2. Tubería para aforo.	81
5.3.1.3. Tubería inferior para la alimentación.	82
5.3.1.4. Pantalla antiturbulencia.	82
5.3.1.5. Mancera con pivote para el tiro manual.	83
5.3.1.6. Base con patines deslizables.	83
5.3.1.7. Tapa.	84
5.3.1.8. Mecanismo de abertura y cierre.	84
5.3.2. Cálculo de la estructura soporte del TDF.	86
5.3.2.1. Cálculo para el punto I.	87
5.3.2.2. Cálculo para el punto II.	88
5.3.3. Funcionamiento del dispositivo.	89
5.3.4. Comportamiento hidrodinámico de TDF.	90
5.3.5. Valoración económica de la constricción del dispositivo.	91
6. Protección del suelo.	92
6.1. Movimiento de suelo en el surco.	92
6.2. Medidas de protección del suelo.	93

ÍNDICE DE FIGURAS	PAGINA
3.1. Ubicación geográfica de la localidad de Banao y Área de estudio.	40
3.2. Perfilómetro.	50
4.1. Representación esquemática de la calicata para la toma de muestras.	55
4.2. Dispositivo para la determinación de la densidad del suelo.	56
4.3. Familia de curvas de infiltración.	63
5.1. Relación entre el caudal de diseño y la velocidad del flujo de humedad.	74
5.2. Relación entre la velocidad del flujo de humedad y el caudal de diseño.	75
5.3. Relación entre el caudal de diseño y la velocidad de infiltración estabilizada.	76
5.4. Relación entre la velocidad del flujo y la velocidad de infiltración estabilizada.	76
5.5. Relación entre el caudal y las láminas infiltradas.	78
5.6. Relación entre el caudal y la uniformidad de distribución.	78
5.7. Relación entre el caudal y la eficiencia de aplicación.	79
5.8. Vista general del TDF (tanque de descarga por el fondo).	81
5.9. Componentes internos del TDF.	82
5.10. Mancera de tiro manual.	82
5.11. Patines deslizantes e instalación de salida.	84
5.12. Partes de la válvula de abertura y cierre.	85
5.13. Unión del patín al bastidor.	87
6.1. Área beneficiada con la barrera de vetiver.	93
6.2. Porte alcanzado por la barrera de vetiver.	94
6.3. Medición de cúmulos de suelo frente a la barrera de vetiver.	94
6.4. Movilización de suelo en parcelas con la barrera de vetiver.	95
6.5. Representación esquemática del área con barrera viva.	97

ÍNDICE DE TABLAS	PAGINA
3.1. Desagregación de la población de Banao por sexo y edad (años).	41
3.2. Clasificación de la población en edad laboral por sexo y edad.	41
3.3. Características hidrológicas de la cuenca Banao.	42
3.4. Valores promedios de la composición química del agua.	43
3.5. Area y número de productos dedicados al cultivo de la cebolla.	46
3.6. Características de la parcela tradicional para el cultivo de la cebolla.	48
3.7. Comparación entre variedades para el estudio de la capa activa.	49
3.8. Peso de los bulbos comercializados.	50
3.9. Formación de materia seca .Resultados del pesaje.	51
4.1. Valores de densidad del suelo.	57
4.2. Valores de capacidad de campo a las 72 horas.	59
4.3. Avance del flujo de agua en el riego continuo.	62
4.4. Tiempo de oportunidad de infiltración.	62
4.5. Velocidad del agua en el surco con riego continuo.	64
4.6. Avance promedio del agua en el riego intermitente.	65
4.7. Contenidos de humedad durante l aprueba de infiltración.	67
4.8. Velocidad básica de infiltración básica.	68
4.9. Parámetros de infiltración de la función Kostikoy-Lewis.	69
4.10. Parámetros de infiltración de la función Philip.	71
4.11. Profundidad de humedecimiento en el suelo.	71
5.1. Ciclo de trabajo del TDF.	91
5.2. Costo de los componentes del TDF y la mano de obra.	91

1. INTRODUCCION

La cebolla (*Allium cepa L.*) se cultiva desde tiempos ancestrales por sus valores culinarios, nutritivos y medicinales, fue usada para la momificación y no existen dudas de sus propiedades anticáncer, digestivas y circulatorias. Para muchas regiones del mundo constituye un renglón económico de sustento y aunque los estudios filogenéticos ubican su origen en Asia, alrededor del territorio de Afganistán, el cultivo se ha extendido por todas las regiones del mundo con un elevado número de variedades y culturas técnicas (Ronda, 2006; Lorenzo; 2006)

En Cuba se cultiva en todo el territorio nacional con grandes diferencias en el comportamiento productivo influenciado por los elementos y factores climáticos. La Habana y Sancti Spíritus son las provincias de mayor producción y donde existe una arraigada cultura del cultivo.

La localidad de Banao en la provincia de Sancti Spíritus, se caracteriza por un mesoclima particular, propio para el cultivo de varias especies vegetales que en otras áreas de la provincia no alcanzan estos rendimientos, esto ha incitado a varios productores e investigadores de diversas generaciones a tratar de instalar en estas áreas cultivos exóticos como la uva (*Vitis vinifera, L.*) la fresa (*Fragaria vesca L.*) y otros; sin embargo, las *Alliaceas*: Cebolla y Ajo (*Allium sativum L.*), han sido práctica común de los pobladores de Banao; distinguiéndose por la calidad y las producciones de estas especies en los tres principales sectores poseedores de tierra: campesino, cooperativo y estatal (Santana, 2006).

Particularmente la producción de cebolla en los últimos veinte años ha sido inestable en los sectores estatal, cooperativo y privado; pero con una tendencia media al decrecimiento, siendo el sector campesino el más sostenido (Santana, 2004)

En el primer Taller Nacional de Aliáceas (Santana, 1993) desarrollado por el Departamento Agropecuario de la Facultad de Agronomía del actual Centro Universitario de Sancti Spíritus "José Martí Pérez" (CUSS) con la participación de productores estatales, campesinos, cooperativistas, dirigentes y profesionales se analizó la problemática que afecta la producción de estas especies. Entre los pronunciamientos conclusivos del taller estuvieron:

- *Rescatar la cultura cebollera, respetando: fechas de siembra, manejo de los semilleros y agrotecnia del cultivo.*
- *Adoptar medidas para proteger los suelos: fundamentalmente el manejo adecuado del riego por surcos, lo que requiere de la participación integrada de especialistas de suelo y riego.*
- *Establecer una adecuada estrategia de variedades.*

En el segundo pronunciamiento, se aprecia que el riego por surcos en el cultivo es visto por los productores como un evento agresivo para el suelo; sin embargo, excepto en la etapa de semillero que se utiliza el riego por aspersión, la cebolla responde adecuadamente a esta técnica de riego, pues esta especie se caracteriza por tener el área foliar cubierta por una capa cerosa que el agua de lluvia o de aspersión deteriora y la planta pierde este medio de regulación de su actividad con el exterior, lo que se manifiesta en el debilitamiento de las defensas del vegetal tanto para agentes biológicos como físicos; además el agua de lluvia o aspersión se acumula en el pseudotallo provocando pudriciones precoces del bulbo o baja resistencia al almacenamiento.

El método de riego superficial con sus técnicas es el más extendido en el mundo por su bajo costo de inversión, fácil operatividad y bajo costo de energía (García, 1996; Roldán; 2005).

El desarrollo de tecnologías avanzadas como el riego intermitente a finales de la década de los años 70 en los Estados Unidos de América y su generalización en el mundo con resultados satisfactorios, ha permitido demostrar las posibilidades técnico económicas del riego superficial, teniéndose como elementos básicos el diseño y manejo adecuado de los sistemas (Abreu, 1998; Abdulrahman, 2001; Ahmed, 2002; Brown *et al*, 2003 y Sánchez *et al*, 2004).

La mayoría de los expertos coinciden en que esta técnica de riego puede aplicarse en cualquier región y a cualquier cultivo siempre que se practique racionalmente; pues sistemas de riego por gravedad mal concebidos conducen a bajos rendimientos por incumplimientos de los volúmenes de agua requeridos, a grandes pérdidas de agua por escorrentías e infiltración y a la erosión del suelo si se manejan mal los gastos y el tiempo de riego (Alcalde, 2005).

El propio testimonio de los productores banaños afirma que los suelos de la región han sido mal protegidos y explotados, prueba de ello es que estos han tenido que trasladarse a otras áreas más próximas a la montaña, desarborizándolas para buscar

mejores rendimientos (Lorenzo, 2006).

Estudios realizados por Santana y Cáceres (1995); Santana y Rojas (1996) y Viera (2006) relacionados con el historial agrícola de Banao permitió arribar a las siguientes resultados:

- Utilización de prácticas agrícolas que favorecen la degradación del suelo; destacándose el surcado a favor de la pendiente y la falta de poli cultivos.
- Utilización de caudales inapropiados por parte de las sucesivas generaciones de productores de cebolla que han ido manteniendo las entregas de agua que empíricamente heredaron de sus predecesores sin percatarse que al irse trasladando hacia la premontaña la topografía es más abrupta y la velocidad del flujo en el surco aumenta y con ello se erosiona más el suelo.
- Insuficiente disponibilidad de agua para el riego debido al incremento del área de regadío y el mal manejo del recurso.

El estudio perspectivo sobre el cultivo de la cebolla en Banao realizado por Cruz (1996) refiere que para rescatar la producción posible de 9 090 t se deben asociar e incrementar las áreas de acuerdo con las fuentes de abasto de agua.

El presente trabajo reviste una importancia trascendental para la provincia y para la nación considerando que la localidad de Banao aporta el 30% del volumen nacional de cebolla y es única en producción de semilla de esta especie en el país.

La investigación bibliográfica realizada sobre este tema no reportó información relacionada con el riego por surcos en el cultivo de la cebolla para condiciones de pendientes elevadas; no obstante para estos casos la técnica usualmente empleada es la de micro irrigación.

Los resultados que se exponen en el presente estudio tienen el respaldo de dos 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”.

Siendo Banao una localidad distintiva en la calidad y cantidad de cebolla para la producción nacional, se presenta una situación compleja en los órdenes tecnológico, ambiental, social y económico que deviene en el siguiente Problema científico: ¿Cómo lograr el mejoramiento del riego por surcos y la conservación del suelo en el cultivo de la cebolla en condiciones de premontaña? El Objeto de estudio se define como la Ingeniería del riego superficial para el cultivo de la cebolla en condiciones de premontaña; siendo el Campo de acción el Mejoramiento de los parámetros de diseño y manejo del riego por surcos y los métodos de conservación de suelo.

De lo anterior se infiere la necesidad de un estudio que compruebe si se cumple la siguiente Hipótesis: Si se utiliza una tecnología sostenible basada en la aplicación intermitente del agua y el uso de barreras vivas de vetiver, es posible lograr el mejoramiento de los parámetros del riego por surcos y la conservación del suelo en el cultivo de la cebolla en condiciones de premontaña.

Objetivo general

Desarrollar una tecnología sostenible mejorando los parámetros de diseño, manejo y conservación del suelo utilizando riego por surcos para el cultivo de la cebolla en condiciones de premontaña en la comunidad agrícola de Banao.

Objetivos específicos

1. Realizar el estudio ambiental de la comunidad agrícola de Banao para la interpretación de la cultura agraria y su integración a la tecnología propuesta.

2. Determinar las propiedades hidrofísicas del suelo en el área de estudio.
3. Determinar los parámetros de diseño y manejo adecuados para el riego por surcos en condiciones de flujo continuo e intermitente.
4. Diseñar un dispositivo para la implementación del riego intermitente en la parcela típica de cebolla.
5. Evaluar el dispositivo propuesto para las condiciones particulares de la localidad.
6. Proponer medidas de conservación de suelo asociadas al manejo del agua en suelos ondulados dedicados al cultivo de la cebolla en estas áreas.

Novedad científica

Por primera vez se justifica la sostenibilidad de una tecnología de riego intermitente por surcos en pequeñas superficies para el cultivo de la cebolla en topografía ondulada, incorporando a la misma medidas de protección de suelo con diseños apropiados para estas comunidades agrícolas. Se explica el perfeccionamiento de las vías de integración de la tecnología a las costumbres sociales para la utilización racional de los recursos. La condición de ser una tecnología económicamente viable y ecológicamente sostenible la desenmarcan de los cánones de la tecnología convencional que se utiliza actualmente.

Aporte teórico

La investigación aporta criterios de diseño del riego por surcos en un cultivo de importancia nacional, transferibles a escenarios similares y reorganiza conceptos en el empleo de tecnologías sostenibles y la utilización de recursos propios a partir de una caracterización socio productiva integradora.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades del cultivo de la cebolla

La cebolla (*Allium cepa*, L) es una de las hortalizas más versátiles, se consume cruda, en ensaladas, cocinada, preparada en diversas salmueras y como condimento culinario. En medicina, se emplea como diurético y es muy rica en vitamina C, evita la caída del cabello y la infección de heridas pequeñas. También evita el estreñimiento, los cólicos nefríticos y alivia los síntomas de reumatismo (Domínguez, 2003).

La gran importancia de este cultivo como alimento se debe a sus cualidades nutritivas, mejora el sabor de las comidas y acelera la secreción de las glándulas del sistema digestivo y que los compuestos azufrados de la cebolla ejercen una cierta acción antimicrobiana (Guenkov, 1969; Huerres, 1991).

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 (Domínguez; 2003; Lorenzo; 2006).

Según Guenkov (1969) la cebolla se considera originaria de Asia en sus tres grandes grupos de variedades: picantes, semipicantes y dulces. La mayoría de los botánicos le confieren su origen a un área que abarca Irán, Paquistán y Afganistán, (Huerres *et,al.*; 1991; López; (2006). A América fue traída después de su descubrimiento y en Cuba se cultivó desde los primeros años de la colonia, (Rousell; 1949).

Es una especie cultivada en todo el mundo prácticamente; siendo los mayores productores China, India y Estados Unidos. La producción mundial rebasa los 19 millones de toneladas, producidas en una superficie próxima a los 1,5 millones de hectáreas (Santana, 2006)

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 Spiritus 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, (Huerres *et al*, 1991; Robaina, 1995).

Huerres *et al*, (1991) 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*.

Las raíces verdaderas de la cebolla, mueren temprano y todas sus raíces son adventicias, alcanzando de 20-25 cm. de longitud y escasos pelos absorbentes, por lo que requiere de humedad disponible para su desarrollo (Huerres *et al*, 1991, Guenkov, 1969). Santana *et al*, (1998), encontraron en un estudio en la localidad de Banao que las variedades *Yellow Granex Híbrida YGH* y *Texas* no profundizan por encima de 25 cm. y que más del 80% de las raíces se desarrolla hasta los 15 cm.

El tallo verdadero es la base del bulbo y alcanza una altura de 0,5-1,5 cm. y un diámetro de 1,5-2 cm (Huerres *et al*.; 1991, Laura; 1984, Ronda; 2005).

Las hojas presentan un limbo tubular, cilíndrico, aguzado en el ápice y la vaina; su conjunto, forma el bulbo y el falso tallo, (Huerres *et al*., 1991, López; 2006).

La inflorescencia de la cebolla se considera una umbela simple. En Cuba esta especie no florece de forma natural. (Ronda, 1997).

La cebolla es una planta perenne, no típica con etapas de desarrollo bienal. En Cuba, al no existir las condiciones naturales que favorezcan la floración, se considera que su ciclo agrícola es anual (López; 2006). Requiere de tiempo frío y húmedo para su desarrollo y

para su maduración es necesario tiempo seco y cálido, (Hume; 1971; Doorenbos y Kassan; 1996, López; 2006). Lacasa (1985) señala que requiere clima fresco, en la primera fase de desarrollo y que, es una planta de días largos. Nótese que la duración del día en Cuba es entre 13 y 15 horas/luz (Matov, 1981) por lo que deben emplearse cultivares de días cortos ya que el fotoperíodo según el propio Lacasa (1985) es el factor del clima más importante para este cultivo.

En cuanto a las temperaturas, Ronda (2006), refiere que de 10 - 25 °C con medias de 18 °C son las óptimas para alcanzar un buen desarrollo vegetativo. Huerres *et al.* 1991 y Muñoz; 1984, señalan que esta planta adapta bien al frío sus procesos morfo-fisiológicos y que si una vez formado el bulbo recibe bajas temperaturas durante tres meses, las plantas florecen,. Guenkov (1969) afirma que es una especie resistente al frío y que las exigencias al calor son diferentes en las diferentes fases de desarrollo.

Los métodos de siembra de este cultivo son: trasplante, bulbillo y siembra directa; El trasplante es el método más ampliamente utilizado en Cuba según Huerres (1991); Guenkov (1969). y Lorenzo, 2006.

Tanto Muñoz (1984) como Huerres *et al.* (1991) plantean que la época de siembra en Cuba es de octubre a noviembre. Guenkov (1969) apunta que para la experiencia práctica cubana la mejor época para la siembra directa es del 1^{ro} de septiembre al 15 de octubre y para trasplante del 15 de noviembre al 15 de diciembre. Trabajos realizados en Banao han probado que las siembras tardías reducen el ciclo del cultivo y que en la zona existe tendencia a este tipo de siembra (Marí *et al*, 2000; Hondal *et al*, 2002).

Schewisguth y *Bruant*, citados por Huerres *et al.*(1991) han estudiado la evolución de la materia seca en el curso del desarrollo vegetativo de la planta de cebolla en diferentes variedades e híbridos, y aseguran que: a) los bulbos de las plantas jóvenes tienen un contenido superior de materia seca que los bulbos maduros;

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

b) El contenido de materia seca del follaje es menor que el de los bulbos, durante todo el desarrollo de la planta; c) las lluvias afectan adversamente el contenido de materia seca.

2.2 Necesidades hídricas y manejo del agua en la cebolla

El cultivo de la cebolla requiere de humedad para su desarrollo; pues las raíces verdaderas de la cebolla mueren temprano y todas sus raíces son adventicias, alcanzando de 20 - 25 cm. de longitud y escasos pelos absorbentes. Huerres *et al*, (1991); Guenkov, (1969) y Santana *et al*. (1998), encontraron en un estudio en la localidad de Banao que las variedades Yellow Granex Híbrida YGH y Texas no profundizan por encima de 25 cm. y que más del 80% de las raíces se desarrolla hasta los 15 cm.

Las exigencias de humedad de este cultivo son altas según Guenkov (1969) ya que es una planta de sistema radical poco desarrollado. Esto es corroborado por Lacasa (1985) y Medrano *et al*, (1975) que encontraron como causa el sistema radical con poca capacidad de explorar un volumen de suelo extenso. Para obtener el rendimiento óptimo de la especie se necesitan 350 - 550 mm de agua (Doorenbos y Kassan, 1986).

Santana (2003) propone los siguientes valores indicativos de las necesidades de agua del cultivo de la cebolla durante todo su ciclo vegetativo (tabla 2.1)

Tabla 2.1 Valores indicativos de las necesidades de agua de la cebolla

Estudios realizados por el MINAG (1983) y Doorenbos y Kassan (1986) demuestran que el agotamiento del agua en el suelo no debe exceder del 25 % de la humedad disponible para lograr un rendimiento elevado; es por esto que el riego se debe interrumpir cuando el cultivo se aproxima a la madurez para evitar un segundo crecimiento de las raíces.

La cebolla es muy sensible al déficit de agua durante el trasplante y la formación de la

cosecha (60 días posteriores al trasplante); especialmente durante el crecimiento rápido del bulbo y es menos sensible al déficit de agua durante el período de crecimiento (MINAG, 1983 y Camejo, 2006).

Un estudio sobre la evaluación de coberturas muertas en este cultivo, realizado por Fuentes (2005) encontró que la humedad del suelo no presentó diferencias significativas hasta la oncesima semana después del trasplante, a partir de la cual los tratamientos cubiertos con paja de arroz (*Oriza sativa, L*) y hierba de guinea (*Panicum maximum, L.*) mostraron ser superiores en la preservación de la humedad hasta un espesor de 20 cm de suelo, comparado con el suelo desnudo (testigo).

Dorembos y Kassan (1986) señalan que: a) la planta responde con un crecimiento reducido ante un suministro excesivo de agua; b) el 100 % de absorción de agua ocurre hasta los 0,5 m de profundidad; c) el suelo debe mantenerse húmedo con riegos ligeros y frecuentes (2 a 4 días), con una tasa de evapotranspiración de 5 a 6 mm/días; d) el suministro de agua debe suspenderse 15 a 25 días antes de la recolección; e) la humedad excesiva ocasiona la difusión de enfermedades; f) un buen rendimiento de bulbos bajo riego es de 35 a 45 t/ha,

El instructivo técnico de la cebolla propuesto por el MINAGRI (1983) indica que: a) los valores máximos de la evapotranspiración en las condiciones de Cuba son de 4,5 a 4,3 mm/días en el periodo de desarrollo del bulbo y los mínimos de 1,2 a 2,5 mm/días; en la fase de desarrollo vegetativo; b) la capa del suelo a humedecer desde la siembra o trasplante hasta el inicio de la formación del bulbo es de 20 cm. y durante el desarrollo de este 30 cm; c) el límite productivo para el cultivo, en por ciento en base a suelo seco, respecto a la capacidad de campo del suelo es de 70 a 75 en suelos ligeros, 80 a 85 medios y 85 a 90 en suelos pesados (MINAG; 1983).

Doorenbos y Pruitt (1990) determinaron el coeficiente bioclimático del cultivo en los días

posteriores al transplante, obteniendo los valores siguientes: etapa inicial (25 - 30 días: $K_b = 0,7 - 0,8$); etapa mediados del período (25 - 45 días: $K_b = 0,95 - 1,1$) etapa final de temporada (35 - 45 días: $K_b = 0,85 - 0,90$) y etapa de recolección ($K_b = 0,75 - 0,85$).

Doorembos y Kassan (1986) advierten que el cultivo es sensible a la salinidad del suelo y disminuye los rendimientos en tal caso.

2.3 Generalidades sobre el riego de los cultivos

El agua para riego es un recurso para la producción final en la agricultura, por eso es interesante el problema de cómo calcular su efectividad (Machev, 1981; Kirilova y Pavón, 1986; Hernández, 2006).

Existen abundantes documentos que dan fe de la antigüedad del riego, en el Génesis se cita a Amraphael, rey de la primera dinastía de Babilonia que promulgó el código de Hammrabi, de cuyo contenido se deduce que la existencia de la gente dependía del regadío (Irsaelsen y Hansen, 1970; Reza, 2005; Camacho, 2005).

La irrigación se utilizó hace más de 4000 años en Egipto y China; siendo su uso casi igual en el Valle de Mesopotamia y la India (Thorne y Peterson, 1963; Alcalde, 2005).

Según García y Dehogues (1996), el área bajo riego en el mundo se distribuye regionalmente en el siguiente orden porcentual:

Asia.	68,6%
América del Norte y Central	11,8%
Europa	09,8%
África	05,2%
América del Sur	03,6%
Oceanía	01,0%

En América la construcción de obras de regadío data desde más de 500 años y en Cuba el riego se conoce desde el siglo XVIII cuando las aguas del río Mayabeque regaron el Valle de San Julián de los Güines en la provincia de La Habana. En 1884 se constituyó la comunidad de regantes de Güines que a pesar de las halagüeñas

producciones obtenidas por las bondades del riego, no tuvo homólogas, pues el riego siempre fue una promesa incumplida de los gobiernos anteriores a 1959.

A partir de 1959 se comenzó a trabajar en Cuba en la construcción de obras hidráulicas, y en 1962 con la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) se organiza su estrategia hidráulica Kirilova y Pavón,(1986).

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

2.4 Riego por gravedad

En Cuba predominó la técnica del riego por gravedad tradicional, pero en las décadas de los 50 y 60 se fue conformando una estrategia de riego por aspersión como consecuencia del bajo costo del petróleo (Gueorquier y Salgado, 1987).

El riego superficial se considera el método más difundido en el mundo, para su práctica no se requiere de un gasto de energía adicional, máquinas especiales ni material deficitario, (Matov, 1974; Guzmán *et al*, 1983; Aidarov *et al*, 1984; Pacheco *et al*, 1996). El uso de hileras de surcos para regar los cultivos es tan antiguo como las civilizaciones (MINED, 1974; Camacho, 2005).

El riego por gravedad es la distribución del agua por medio de las fuerzas gravitacionales a través de tuberías, surcos, inundación parcial y total y canales, (Berlijin *et al*, 1984; Booher, 1976; Martínez, 2005) .

El riego por surcos se adapta a terrenos con variaciones grandes de topografías, aunque no se aconseja trazar los surcos paralelos a la línea de la máxima pendiente. Según Pacheco *et al*, (1996) los surcos grandes son recomendables en topografías llanas; en terrenos nivelados los surcos son rectos y en terrenos con pendientes los surcos siguen las curvas de nivel, (Berlijin y Brouwer, 1984). Las pendientes de 0,5 a tres por ciento

son las mejores aunque algunos suelos se riegan satisfactoriamente con pendientes de tres a seis por ciento (Israelsen y Hansen, 1970). Según Dueñas et al, 1981 la pendiente del terreno que permite la realización del riego por surcos con mejores resultados es de 0,002 a 0,02.

Las partes del surco con pendientes más elevadas son más vulnerables a la erosión; por eso en topografías onduladas suelen emplearse surcos en curvas de nivel y en zigzag (Booher, 1988; Pacheco, 1989).

Cuanto mayor sea la pendiente del surco menor debe ser el gasto de agua que se entrega a este. La dirección de los surcos debe ser escogida de tal manera que el agua se mueva a velocidades comprendidas entre, 0,1 y 0,25 m/s, (Matov, 1974; Guzmán et al, 1983; Losada, 2005).

La reducción del caudal de escurrimiento y el incremento de la absorción del agua por la longitud del surco está relacionado directamente con la utilización de caudales máximos no (MINED, 1974).

2.4.1 Infiltración

La infiltración se conoce como el proceso de humedecimiento de los suelos hasta su capacidad máxima. Para su determinación existen diferentes fórmulas empíricas y teóricas que dependen de diferentes factores (García y Dehogues, 1996).

Los patrones de infiltración de los suelos son muy variable en dependencia de la permeabilidad vertical y horizontal, la succión capilar, la presencia o ausencia de capas impermeables, la norma de riego de riego y la humedad inicial. La infiltración tridimensional y la forma del volumen humedecido dependen del equilibrio entre las fuerzas capilares y gravitatorias, (Vermeiren y Joblin, 1986; Mujica, 1997).

Cid, (1988) en sus estudio sobre las características de infiltración de los suelos hace referencia a diferentes términos: **infiltración instantánea**: volumen de agua que se

infiltra en un área unitaria de suelo en un instante dado; **Infiltración acumulada:** volumen total de agua infiltrada en una unidad horizontal o de área de suelo en un período medido desde el comienzo de la prueba; **Infiltración promedio:** valor de la infiltración acumulada dividido entre el tiempo total desde que comenzó la prueba; **Infiltración básica:** magnitud de la infiltración “relativa constante” a la que se arriba a las 8 ó 12 horas de comenzada la prueba, según el tipo de suelo. El término relativamente constante puede fijarse cuando la tasa de infiltración es menor del 10 % al compararse con la obtenida en la hora precedente.

La capacidad que tiene el suelo de absorber agua se caracteriza por dos etapas: absorción y filtración, la primera es una magnitud que varía en el tiempo y la segunda es constante, (Aidarov *et al*, 1985).

La velocidad de infiltración es normalmente mucho mayor al principio de un riego o lluvia y disminuye después a medida que transcurre el tiempo. Este parámetro es de gran importancia para los estudios de pérdidas de agua en los sistemas de riego (Ayuso, 2005). El valor que se alcanza hasta 25 mm/h en suelos arenosos y 2,5 mm/h en suelos arcillosos (Berlijin y Brouwer, 1984; FAO, 1967).

La determinación de la infiltración puede realizarse con la utilización de fórmulas empíricas y teóricas las segundas tienen la ventaja de estar físicamente fundamentadas y ayudar a la comprensión del fenómeno; su principal limitación estriba en los supuestos de homogeneidad e isotropismo del perfil o en lo elaborado de las soluciones numéricas.

Las ecuaciones empíricas tienen la ventaja de su sencillez y en general su amplia adecuación a condiciones diferentes de suelo; tienen sin embargo la seria limitación de no proporcionar ninguna interpretación física directa del fenómeno y por tanto son incapaces de extrapolar la información a condiciones diferentes de aquellas en las cuales se obtuvieron (Brown, 2000).

La Ley de Darcy es aplicable en la estimación de la velocidad de infiltración del agua a través del suelo (Alcaide, 2005; Moreno, 2005).

$$V_t = K_t \frac{H.h}{H_t} \quad 2.1$$

Donde: V_t es la velocidad de infiltración en el tiempo, t ; K_t el coeficiente de infiltración en el tiempo t ; h la altura de la lámina sobre el suelo; H_t el espesor de suelo considerado.

La variación de la velocidad de infiltración en el tiempo fue expresada por Kostiaikov en 1932 (Pacheco *et al*, 1989) en la siguiente expresión:

$$V_t = \frac{V_1}{t^n} \quad 2.2$$

Donde: V_t es la velocidad instantánea de infiltración para un tiempo, t , V_1 la velocidad de infiltración al final de la primera unidad de tiempo; t el tiempo transcurrido desde que se inició la filtración; n el coeficiente que caracteriza el proceso de infiltración y que varía en el rango de 0,3 a 0,8 según las propiedades hidrofísicas del suelo.

Para conocer la lámina de agua acumulada (h_t) para determinado tiempo de infiltración respecto al tiempo se utiliza:

$$h_t = \int_0^t V_t d_t = \int_0^t V_1 t^{-n} dt = \frac{V_1}{1-n} t^{1-n} \quad 2.3$$

Pero:

$$\frac{V_1}{1-n} = V_0 \quad 2.4$$

Luego:

$$h_t = V_0 t^{1-n} \quad 2.5$$

Para conocer la velocidad media de infiltración para un tiempo dado se divide la lámina infiltrada por el valor de t , o sea:

2.6

$$V_m = V_0 t^{-n} \quad 2.7$$

Según Pacheco *et al*, (1995) y Mujica (1997) en el proceso del riego por surcos se distinguen tres períodos: 1) avance del frente de agua que culmina cuando se humedece el surco hasta el final, 2) periodo durante el cual toda la longitud del surco está cubierta por una lámina de agua que abastece la infiltración y 3) período de receso que se inicia cuando se corta el suministro de agua en la cabecera del surco. Estos propios autores definen el tiempo de oportunidad como el tiempo durante el cual el agua está presente en forma de lámina sobre el surco.

Matev (1970) divide en tres grupos las fórmulas conocidas para determinar la velocidad de infiltración:

En el primer grupo cita a Kostiakov, Liapin y otros con la forma general:

$$K_t = \frac{A}{t} = \frac{K_1}{t} \quad 2.8$$

En el segundo grupo cita a Beffani, Averianov, Gadzalaski y otros con la forma general:

$$K_t = \frac{A}{t} + K = \frac{K_1 - K}{t} + K \quad 2.9$$

En el tercer y último grupo cita a Horton, Buniatian y otros con la forma general:

$$K_t = +(K_n - K)e^{-\alpha t} \quad 2.10$$

Donde: K es la velocidad permanente de infiltración (coeficiente de filtración), K_1 la velocidad de infiltración al final de la primera unidad de tiempo, K_n la velocidad inicial de infiltración en la primera unidad de tiempo; α el exponente que caracteriza la disminución de la velocidad de infiltración con el tiempo y t el tiempo transcurrido.

Según el propio autor los mejores resultados se obtienen mediante la fórmula de Kostiakov con la formula:

$$K_{prom} = \frac{1}{t} \int_0^t \frac{K_t}{t} dt = \frac{K_1}{(1 - \alpha)t} \quad 2.11$$

La anterior relación es válida en el caso de un movimiento uniforme del agua en el surco; pero como este resulta ser retardado, entonces la ecuación entre el riego en un punto y la velocidad promedio de infiltración a lo largo del surco no expresa de manera justa la naturaleza del fenómeno.

Cid (1988) encuentra tres grupos de modelos para determinar la infiltración:

Primer Grupo: Ecuaciones algebraicas y empíricas de Kostiaikov (1932), Horton (1940) y Holtan (1961).

Ecuación de Kostiaikov (1932)

$$I = at^b \quad 2.12$$

Donde: I es la velocidad de infiltración en cualquier tiempo; a la constante que representa la velocidad de infiltración en el tiempo; b el exponente que es siempre negativo con valores entre 0 y 1; t el tiempo de infiltración.

Ecuación de Horton (1940)

$$fp = fc + (fo - fc)e^{-kt} \quad 2.13$$

Donde: fp = capacidad de infiltración en cualquier tiempo; fo la capacidad inicial de infiltración; fc la infiltración final o capacidad de infiltración en equilibrio; k la constante que depende del tipo de suelo y del contenido inicial de humedad.

c) Ecuación de Holtan (1961)

$$Fp = fc + afp_a^n \quad 2.14$$

Donde Fp es la capacidad de infiltración; fc la infiltración final constante; fp el volumen potencial de infiltración (humedad inicial menos agua infiltrada); a la constante que depende del tipo de suelo

Segundo grupo: Ecuaciones algebraicas derivadas teóricamente (aplican la ley de Darcy, 1856) para una zona saturada en el suelo.

Ecuación de Green y Ampt (1911).

$$Fp = K_s \frac{L + S}{L} \quad 2.15$$

Donde: K_s es la conductividad en la zona húmeda, L la distancia desde la superficie del suelo hasta la zona saturada; s la succión capilar en el frente mojado.

Ecuación de Philip (1954)

$$F = S.t^{\frac{1}{2}} + At \quad 2.16$$

Donde F es el volumen de infiltración en el tiempo; S y A constantes dependientes del suelo y del contenido inicial de humedad.

Tercer. Grupo: Ecuación de flujo de la humedad del suelo.

La combinación de la ley de Darcy aplicada a flujos no saturados y la ecuación de continuidad resultan una ecuación diferencial parcial no lineal y de segundo orden de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} (k\theta) \frac{\partial_s(\theta)}{Z} - \frac{\partial k(\theta)}{\partial Z} \quad 2.17$$

Donde θ = contenido de humedad volumétrica; T el tiempo; Z la distancia bajo la superficie; $S\theta$ la succión capilar; $K\theta$ la conductividad no saturada.

Esta ecuación es llamada ecuación de Richards (1955) o ecuación de difusión Mein y Curtis (1971).

2.4.1.1 Métodos de campo para la determinación de la infiltración

2.4.1.1.1 Anillos infiltrómetros

El método consiste esencialmente en la utilización de un juego de anillos (uno de 30 cm de diámetro y otro de 60 cm) que se colocan uno en el interior del otro sobre un mismo

centro y se entierran ligeramente en el suelo, con la ayuda de un nylon se llena el anillo del interior para no perder la lectura y en el del exterior se mantiene un nivel de agua aproximadamente igual o ligeramente inferior al primero que debe tener una lámina de 10 ó 12 cm de altura. En el anillo interior es donde se realizan las lecturas de volúmenes de agua infiltrados para cada intervalo de tiempo (Dueñas *et al*, 1981; Aidarov *et al*, 1984; Pacheco *et al*, 1989; Roldán; 2005).

2.4.1.1.2 Plazoletas de inundación

Cid (1988) cita el método de como análogo al anterior en su procedimiento pero su construcción se basa en dos marcos de metal de un metro y cuatro metros cuadrados, respectivamente, colocados en un eje central común, a partir de los datos obtenidos en las lecturas de volúmenes aplicados se emplea:

$$Kt = \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot f} \text{ mm/min} \quad 2.18$$

Donde Kt es la velocidad de infiltración; ΔV el volumen de agua que se infiltra en el intervalo t; f el área de infiltración (1m^2).

2.4.1.1.3 Plazoleta de Kashinski

Kaurichev *et al*, (1984) se refiere al método de surco o plazoleta de Kashinski, que consiste en utilizar como infiltrómetro un surco de un metro de longitud limitado por dos compuertas metálicas y dos surcos contiguos a sendos lados. Tanto en el surco de medición (surco central) como en los otros dos (compensadores) debe mantenerse aproximadamente el mismo nivel del agua, el cálculo se hace por la siguiente fórmula:

$$Kt = \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot f} = \frac{V}{\Delta t \cdot Pm \cdot L} \text{ mm/min} \quad 2.19$$

Donde Pm es el perímetro promedio humedecido en el surco investigado; L la longitud del surco (1 m);

2.4.1.1.4 Velocidad de infiltración en presencia de un flujo de agua

La determinación de la velocidad de infiltración del suelo en presencia de un flujo de agua en movimiento es un método aplicado a condiciones reales; el área experimental está representada por surcos trabajando al unísono. En este se registra el momento inicial de entrega de agua y el momento cuando la punta de la lámina alcanza el final del surco. Después, por períodos de tiempo, se mide el agua escurrida hasta obtener un valor constante y se aplica:

$$W = \frac{q.inic - q.final.t}{Pm.L.10} cm/min \quad 2.20$$

Donde W es la velocidad de infiltración; q el caudal L/min (inicio y final); Pm el perímetro mojado(m); L la longitud (m).

Como no todo el surco se cubre de agua a la vez, la velocidad de infiltración debe referirse a partir de la media aritmética de tiempo:

$$t.med = \frac{t.inic + t.final}{2} \text{ min} \quad 2.21$$

En las últimas dos décadas numerosos investigadores han propuesto métodos para determinar la infiltración a través de modelos de balance de volumen (Smerdon *et al*, 1988). Estudios realizados con más de 200 pruebas en diversas parte del mundo concluyen que sólo realizando la prueba de avance y partiendo de sus resultados en los puntos medio y final del surco se pueden obtener los datos de la ecuación de infiltración para el gasto máximo no erosivo con un error no mayor de dos a cuatro por ciento; para ello partieron de las relaciones siguientes:

- Balance de caudal.

$$Z_1 = \frac{Q.T_1}{(L - Cs)A_0} \quad 2.22$$

- Ecuación de Kostiakov mmodificada (Kostiakov-Lewis)

$$Z = K.Top^n + C.Top \quad 2.23$$

- Ecuación Potencial de Avance.

$$Tav = a.L^b \quad 2.24$$

Para la estimación del avance del agua sobre el suelo puede emplearse la ecuación expuesta por Pacheco *et al*, (1989); Losada (2000); Marshall *et al*, (2001) como:

$$X = p .t^r \quad 2.25$$

Donde X es la distancia recorrida por el frente de agua; p el coeficiente empírico para la condición ensayada; t el tiempo empleado en el avance, r el exponente generalmente menor que la unidad. Los valores de p y r pueden determinarse gráfica y analíticamente.

2.5 Riego intermitente

En 1979 Stringham y Keller introducen el concepto de *surge flow* (riego intermitente) en la *Irrigation and Drainage Speciality Conference* de la *American Society of Civil Engineers* y en 1986, la oficina de patentes de los Estados Unidos registra esta modalidad como una técnica de riego, quedando la Universidad de *UTAH* como apoderada y la patente se le otorgó a los Doctores Jack Keller y G. E. Stringham (Walter, 1989; Castillo, 1990 y García, 1994).

En los últimos cincuenta años, el riego intermitente ha sido la única invención que ha revolucionado la técnica de riego por surco. (Alcaide; 2005). Consiste en la aplicación discontinua del caudal de entrada en base a una relación determinada de tiempos con flujos y sin flujos dentro de un ciclo de intermitencias, hasta completar el riego. García (1996) lo considera como un sistema de descargas intermitentes o cíclicas del agua administrada y suministrada por un dispositivo. En cualquiera de los dos casos, según nuestro criterio queda conceptualizado el riego por intermitencia.

En el riego intermitente la infiltración se reduce debido a que al humedecerse el perímetro mojado del surco, los agregados del suelo se disuelven parcialmente y se asientan, forman una superficie fangosa y lisa en que las partículas de arcilla continúan dilatándose; como consecuencia tiende a disminuir la infiltración (Roldán, 2005). En la descripción del proceso físico que ocurre en la interacción suelo - agua cuando se suspende el gasto entre las intermitencias, García (1994) explica que la estructura del suelo se altera, se disuelven parcialmente los terrones, acomodándose las partículas, formando una sedimentación que origina el aislamiento de la superficie, las partículas del suelo se expanden continuamente y tanto el agua como el suelo en contacto con la atmósfera captan aire por atracción capilar y bloquean las pequeñas superficies de los poros.

Pacheco (1996) describe una zona de transición entre la parte humedecida por un impulso y la parte seca subsiguiente en la cual la tasa de infiltración ha sido parcialmente reducida y como consecuencia el segundo impulso y los sucesivos comienzan a desacelerarse antes de llegar a la zona seca.

2.5.1 Ventajas del riego intermitente

Walker y Skogerboe (1979) realizaron pruebas en los Estados Unidos que han puesto de manifiesto las ventajas del riego intermitente frente al método convencional de descarga continua.

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

2.5.2 Desventajas del riego intermitente

Según Roqué (1996) el sistema de riego por caudal intermitente tiene algunas desventajas obvias y otras no tan notables: (1) no es aplicable a campos con topografías onduladas donde los movimientos de tierra sean tan importantes que comprometan el perfil del suelo. (2) en superficie de gran extensión puede requerir algunos retoques de la topografía para corregir el microrelieve. García(1996b) refiere que el riego intermitente presenta algunas desventajas como son: (1) su diseño y uso práctico tiene un mayor grado de complejidad que el riego continuo, (2) el equipo de riego tiene una inversión inicial y requiere un costo de mantenimiento permanente.

Alonso (2006) Comunica las siguientes desventajas del riego intermitente: (1) Los elementos técnicos (dispositivos) para el control del caudal deben ser más preciso y por esta razón más complejos y costosos y (2) se requiere de mayor capacitación del personal que opera el sistema. *et al,*

2.5.3 Dispositivos para riego intermitente

Según refiere García (1994) los dispositivos más comunes para lograr la intermitencia son válvulas de membranas y válvulas mecánicas operadas por controladores automatizados programables que utilizan energía eléctrica proveniente de baterías o paneles solares; pero como alternativa, este investigador del IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) propone dos dispositivos que no requieren de energía externa para el control de la intermitencia, estos son denominados Diabeto y Tanque de Descarga por el Fondo (TDF) respectivamente. El Diabeto trabaja por la ley de descarga de los sifones y los tiempos de impulsos son constantes. En el TDF los impulsos se dan a través de un sistema de descarga por el fondo con apertura y cierre similar al sistema inglés de

los tanques para inodoros domésticos y a través del principio de flotación hidrostática. Tanto el Diabeto como el TDF son aplicables, por limitaciones prácticas a surcos menores de 250 m de longitud. menores de 250 m de longitud.

García (1994) obtuvo resultados satisfactorios en el diseño y evaluación del riego intermitente en áreas de la Universidad Autónoma de Zacatecas, utilizando un tanque de descargas por el fondo en sustitución de la válvula intermitente comercial.

El uso del TDF tiene entre sus características fundamentales las siguientes:

- Aprovechamiento eficiente de caudales pequeños para el riego.
- Posibilidad de aprovechar volúmenes de agua adicionales procedentes de plantas de tratamiento, sistemas de bombeo y arroyos.
- Representa una alternativa frente al sistema de riego intermitente por gravedad; pudiendo ser competitivo con los sistemas de riego presurizado en cuanto al aprovechamiento de los recursos hídricos para riego con bajo costo de operación y mantenimiento.
- No requiere de energía externa para su funcionamiento.
- Se recomienda su utilización en surcos menores de 200 metros y superficies de riego inferiores a media hectárea.
- De preferencia, el dispositivo debe ser alimentado con sistemas de gasto constante. Dicha alimentación puede ser por medio de un sistema de bombeo o con uno por gravedad.
- Es de bajo costo, sencilla operación y mantenimiento casi nulo.

2.5.3.1 Descripción de los componentes del TDF

El tanque de descargas intermitentes esta constituido por tres partes fundamentales: tanque de almacenamiento, dispositivo de apertura y cierre y tubería de compuerta.

Tanque de almacenamiento: se recomienda para fines prácticos por cuestiones estructurales y económicas que la altura máxima del tanque no sea mayor de 1.5 metros, presentando un bordo libre que tiene por objeto evitar el derrame generado

principalmente por efectos de la acción del viento; para estos fines un bordo libre de 5 cm. es suficiente, además el área de la sección del fondo del tanque no debe excederse de los 16 m² con el fin de establecer dimensiones de utilidad practica y fácil construcción.

El dispositivo de abertura/cierre funcionará hidráulicamente por principios de flotación. La tubería de compuertas se colocaran de acuerdo al ancho del surco.

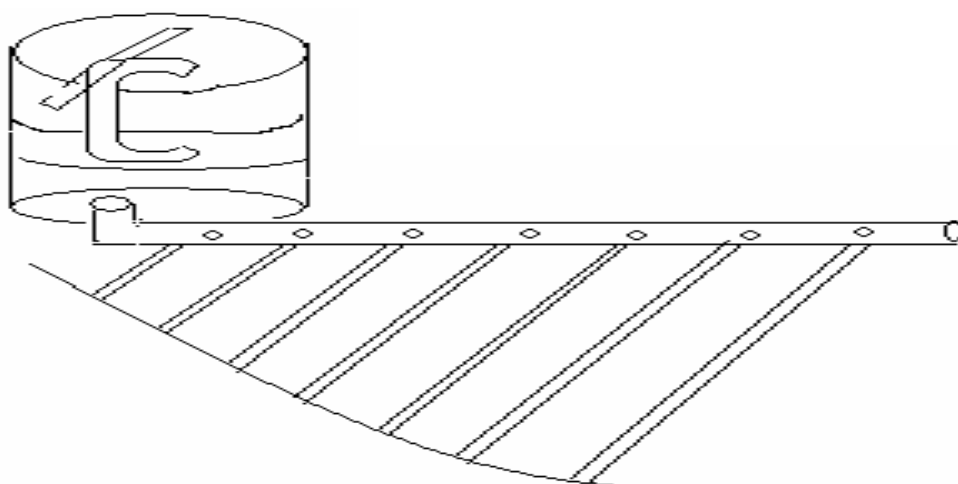


Figura 2.1 Tanque de Descarga por el Fondo (TDF)

El término erosión, del verbo latino *erodere* significa roer (Febles y Durán, 1988). Se define como el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo por el agua y el viento (Suárez de Castro, 1970; y Couso, 1987).

Con el desarrollo de la sociedad humana el suelo se incorporó cada vez más a la esfera de la actividad económica: Sin esta mezcla compleja de material animal, mineral y vegetal nuestro planeta sería tan estéril como la luna (Febles y Durán, 1988). Los procesos que intervienen en su degradación como la erosión hídrica, erosión eólica, exceso de sales, degradación física, degradación química y degradación biológica han sido estudiados por (FAO, 1980(a); Cairo *et al*, 1994; Castelón, 2006). Estos autores describen los siguientes efectos degradantes: a) pérdida de los horizontes del suelo; b) pérdida de los coloides húmicos y minerales del suelo; c) pérdida de los nutrientes del suelo, fundamentalmente nitrógeno y potasio; d) reducción de las propiedades

hidrofísicas; e) degradación de la estructura del suelo; f) pérdida de suelo en t/ha/año.

Ascanio *et al.* (1983), citan datos de Kovda, (1974), en los que este investigador plantea que en el mundo se deterioran de seis a siete millones de ha de tierra anuales producto de los procesos erosivos.

En Cuba, la erosión es altamente peligrosa en los suelos arenosos poco desarrollados, pardos grisáceos, ferralíticos amarillentos cuarcíticos, pardos sin carbonato, fersialíticos y pardos con carbonato, un 25 % de los suelos presenta erosión leve, un 19% mediana y un 30 % fuerte. (Cairo *et al.*, 1994; Bagué, 2005; Ríos, 2005).

Diversos autores, entre ellos Febles y Durán (1988) citan dos tipos de erosión: la histórica, que existió desde la más remota antigüedad, pero que encuentra un equilibrio natural y la erosión acelerada que tiene lugar como resultado de la actividad antropogénica. Planas (1993) describe estas erosiones como natural y artificial, respectivamente.

Respecto a los agentes directos que intervienen en el transporte de las partículas del suelo, la erosión suele clasificarse como eólica si es el viento quien actúa como transportador de suelo e hídrica si es el agua quien en su fluido transporta las partículas de tierra. En la erosión hídrica se distinguen dos fases: la formación de elementos susceptibles a ser arrastrados y el transporte de estos elementos; en el curso de estas fases intervienen como factores la naturaleza del suelo, la pendiente, la vegetación y el hombre (Maass; 1998; Torres; 1999).

En relación con los factores antes citados, Suárez de Castro (1970), afirma que las fuerzas activas de la erosión hídrica están determinadas por la velocidad del agua en el suelo, la pendiente y la velocidad de infiltración del suelo describe también la dependencia de la erosión debido a la resistencia que ofrece el suelo según sean sus propiedades físicas y químicas y de la cubierta y tipo de vegetación presentes.

Ayres, (1936), citado por Suárez de Castro, (1970), encuentra las relaciones teóricas entre la velocidad del agua y su poder erosivo de la siguiente forma:

La velocidad del agua varía con la raíz cuadrada de la distancia vertical que recorre y su energía cinética, es decir, si la pendiente del terreno aumenta cuatro veces, la velocidad del agua que fluye sobre él se duplica y su capacidad erosiva se cuadruplica.

La cantidad de material de determinado tamaño que puede ser transportado varía con la quinta potencia de la velocidad del flujo. El tamaño de las partículas que pueden ser transportadas por rodamiento varía con la sexta potencia de la velocidad del agua. De manera que si se duplica la velocidad de la escorrentía, la cantidad de material de determinado tamaño que puede ser transportado aumenta 32 veces y el tamaño de las partículas que pueden ser transportadas por rodamientos aumenta 64 veces.

En cuanto a los factores relieve y vegetación, Shepashenko, (1984) plantea:

La pendiente y la longitud de ésta ejercen una gran influencia en la dimensión de la erosión. En los países de clima tropical y subtropical, una pendiente pequeña incluso, contribuye a la erosión.

En longitudes cortas (10,7 m) con pendientes de 14 a 18 % la erosión puede variar desde 1,5 a 24,1 t/ha/año y en longitudes largas (22,9 m) desde 28,5 hasta 73,8 t/ha/año (D'Souza y Morgan, 1976)

La vegetación, al cubrir el suelo lo protege del calor y disminuye los gastos de humedad por evaporación y el rastrojo que queda en el suelo disminuye la escorrentía.

Las plantas de acuerdo con su capacidad para proteger el suelo contra la erosión se clasifican en: cultivos abiertos, cultivos de primavera, cultivos de otoño, hierbas de praderas y bosques.

Pueden producirse pérdidas de suelo que se diferencien en más de 15 veces en un mismo cultivo elaborado con diferentes métodos.

La erosión en una misma parcela, con sólo aplicación de abonos al mismo cultivo, puede disminuir en tres veces.

- La distribución de los surcos con relación a la pendiente tiene una gran influencia en la erosión, puede disminuir ésta de un 26 a un 29 %.

La lucha exitosa contra la erosión solo es posible con un manejo integrado del suelo y constituye una tarea de primer orden mundial (Ascanio *et al*; 1983; Cairo, 1995; Fundora, 1995; Bagué, 2005; Castelón, 2006).

Tradicionalmente la clasificación de los grados de erosión se realizaba mediante la verificación del trabajo de campo de manera comparativa (Torres; 1999; FAO, 1980b).

En la clasificación morfológica por familias y series Bennet y Allison (1928), que se empleaba en el levantamiento de los suelos, la erosión se constataba a través de las denominaciones de fases (poco profundo, muy poco profundo y alomado), términos que debían ser conjugados con un perfil patrón para tener una idea del grado de la erosión.

Estudios más avanzados han determinado la erosión sobre la base de tres grados: leve, mediana y fuerte, teniendo en cuenta la profundidad del horizonte (Durán *et al*, 1983).

En la valoración de las pérdidas de suelo por erosión Couso (1987) cita dos métodos: a)

métodos de reconocimientos; b) método del cálculo del peso de suelo perdido. Los métodos de reconocimientos no siempre resultan fáciles aún manteniendo un perfil patrón; este método consiste esencialmente en colocar en el terreno algún elemento que atrape el suelo debajo de su cuerpo; los cuales quedarán como pedestales similares a los que quedan en las raíces y piedras para luego hacer la comparación, en este sentido son muy utilizadas las tapas de botella; también en este método se utilizan clavos con arandelas que puedan desplazarse a través de ellos; antes que se produzca la escorrentía se coloca la arandela de manera que toque ligeramente la superficie del suelo y la cabeza del clavo toque ligeramente la arandela. Si se produce arrastre de las partículas de suelo debajo de la arandela, ésta bajará, estableciéndose una magnitud entre la cabeza del clavo y la arandela.

Otra técnica empleada en el método de reconocimiento consiste en la colocación de estacas en el área y la realización de mediciones del espesor de suelo perdido con una cinta métrica, este procedimiento es conocido con el nombre de transectos. También se colocan mallas, y sogas anudadas.

Para calcular el peso de suelo perdido se utilizan las parcelas de escurrimiento, las cuales consisten en confinar determinada superficie y captar la escorrentía correspondiente en un tanque o sistema de tanques graduados, luego se remueve el agua contenida en estos y se toma una muestra de un litro, se filtra y se pesa el contenido de sólidos en ella y se multiplica por el volumen captado en la parcela.

Otra forma de calcular el peso de suelo erosionado es a través de la siguiente relación matemática:

$$P = A.D.h$$

2.26

Donde P es el peso del suelo erosionado (t), A el área en estudio (m²); D la densidad aparente (t/m³) y h la altura promedio de la capa perdida (m).

Se han ideado también fórmulas empíricas más o menos complicadas para determinar las pérdidas por erosión, pero en la práctica no explican bien este fenómeno, (Planas 1973). Desde 1972 se viene aplicando con preferencia un modelo matemático ideado en los Estados Unidos por Wischmeier y Smith con un porcentaje elevado de exactitud; este modelo es conocido como Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo por Erosión, *USLE (Universal Soil Loss Equation)*, que se expresa:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

2.27

Donde: A es la pérdidas de suelo expresadas en t/ha, R el factor lluvia; K el factor de erodabilidad del suelo debido a sus propiedades físico-químicas; L el factor largo de la pendiente; S el factor grado de la pendiente; C el factor cobertura vegetal, restos de cosecha, pedregosidad, etc.; P el factor prácticas de conservación. Para la determinación de los cinco factores que componen esta ecuación es necesario consultar literatura especializada.

Ninguno de los métodos antes descritos son específicos para determinar la erosión que se produce en los surcos de riego, aunque de ellos pueden inferirse procedimientos análogos que dan resultados confiables.

La erosión en los surcos consiste esencialmente en el arrastre de partículas de suelo por el agua, el hecho generador de este fenómeno es una circulación del líquido en filetes cuyo caudal y velocidad son aptos para una acción erosiva. La formación de los filetes del agua es función directa del microrrelieve del terreno. Los pequeños obstáculos como piedras, en su parte inferior provocan un remolino que conduce a una socavación del obstáculo. Por otra parte las pendientes son difíciles de estudiar puesto que son transicionales en forma y en proceso y sólo logran equilibrio cuando los agentes de cúmulo y erosivo equilibran su actividad, (Febles y Durán, 1988).

Resulta interesante destacar que la cuota de infiltración del suelo se ve afectada profundamente por el carácter fangoso del agua debido a que los sólidos suspendidos en ésta obturan la entrada a la superficie según (Febles y Durán, 1988). De este fenómeno se deduce que si la velocidad de infiltración disminuye, el caudal que circula sobre la superficie del surco será mayor que si se compara en iguales condiciones con un flujo de agua clara.

Suárez de Castro (1970) explica por qué el agua aún a velocidades muy reducidas es capaz de transportar cantidades apreciables de materiales. Pérez (1989) comunica que el desprendimiento y transporte de los suelos son mayores en la erosión por surcos que en la erosión laminar debido a la mayor velocidad del agua cuando se concentra (energía del flujo) y la magnitud de este desprendimiento es proporcional al cuadrado de la velocidad del agua; así cuando la velocidad se duplica, el poder de desprendimiento se cuadruplica, esto se explica teóricamente por la relación:

$$Pb = Q.V^2 \quad 2.27$$

Donde Pb es la Potencia bruta o potencial de escorrentía, Q el Caudal, V la Velocidad de la escorrentía.

Al valor de Pb debe restársele la energía absorbida en el transporte (Et) y la energía absorbida en el rozamiento (Er) para obtener la potencia neta (Pn), o sea:

$$Pn = Pb - (Et + Er) \quad 2.28$$

Así para:

$Pn > 0$ se produce erosión.

$Pn = 0$ se produce transporte de partículas.

$Pn < 0$ se produce sedimentación.

García y Dehogues (1996) consideran la erosión del suelo por el agua en el método superficial de riego como un grave problema y resaltan que cualquier incremento de la

pendiente del surco aumenta los riesgos erosivos y citan valores entre 0,2 y 1,8 % de ésta para surcos comunes aunque a veces lleguen a ser de 4 %, sin que se recomienden estas últimas.

Como la sección del surco no sólo tiene como función que se infiltre agua sino también de servir como transporte de la misma hacia el área más baja de éste; por tanto como en la zona superior es donde fluyen los gastos mayores y por tanto la posible existencia de la erosión es que se debe investigar primero en la parte más alta del surco.

En cuanto a los parámetros tecnológicos del riego por surcos, para evitar el fenómeno erosivo, deben considerarse velocidades enmarcadas entre 0,1 y 0,2 m/s y longitudes de surcos donde el gasto máximo alcance el final de los mismos alrededor de la cuarta parte del tiempo que demora el suelo en llegar a capacidad de campo; no obstante, el gasto máximo debe ser determinado prácticamente,(García y Dehogues, 1996; Companioni, 2006).

2. 6.1 Medidas de conservación de suelos

La falta de estrategias en ecosistemas frágiles de montañas conduce rápidamente a catástrofes ecológicas debidas a la erosión. Las tecnologías inadecuadas contribuyen a la ruptura del equilibrio ecológico en estos sistemas (Cairo y Fundora, 1995; Castelón, 2006).

Todo programa de conservación de suelos debe basarse en el uso de cada terreno, distribución de los cultivos y aplicación de diversos sistemas culturales, además en las condiciones económicas y sociales que influyen decididamente en que el suelo no sufra mengua de su productividad por razón de erosión, (Suárez de Castro, 1965). Las prácticas culturales y agronómicas de conservación de suelos tienen una gran importancia por ser éstas utilizadas en los suelos aún no dañados y en los suelos productivos y por estar muy ligadas a las prácticas agrícolas; entre éstas se citan:

distribución de los cultivos; siembra en contorno; cultivos en fajas y barreras vivas (Febles y Durán, 1988).

Suárez de Castro (1965), ubicó entre las prácticas culturales y agronómicas las siguientes: distribución de los cultivos, siembra en contorno; cultivos en fajas, rotaciones de cultivos; plantas de cobertura y abonos verdes; barreras vivas; entre las prácticas mecánicas, relaciona: canales de desviación; terraza de absorción y desagüe; acequias de ladera; bancales, terrazas individuales y represas para el control de cárcavas. Este autor plantea que las acequias de laderas son estructuras mecánicas utilizadas en regiones de mucha pendiente y que para su establecimiento deben construirse canales de 30 cm. de plato y talud 1: 1 y a todo lo largo de éste sembrar una barrera con el objetivo de filtrar el agua. La distancia entre canales depende de la pendiente y el uso del terreno.

En cuanto a la especie de planta que debe utilizarse para la barrera, diferentes autores citan diversos especímenes; pero en este trabajo se consideran correctos los criterios de Febles (1988); Shepashenko (1984) y Espineira (2006) en que éstas deben ser plantas perennes, de crecimiento denso, no invasoras, resistentes al fuego y sistema radical profuso y fibroso. Una especie que ha mostrado buenos resultados y es muy difundida en este uso es el vetiver (*Vetiveria zizanoides*, L. (Nash)), también pueden citarse con buenos resultados la limoncilla (*Andropogum citratus*), el pasto imperial (*Paspalum fournerianun*) y la Piña (*Anana sativa*).

2. 7 Resumen de la revisión Bibliográfica

- La cebolla se cultiva en todo el mundo donde se obtienen producciones en el orden de los diecinueve millones de toneladas, representando una fuente importante de alimentos que la convierten en un cultivo de gran importancia económica.

- El suelo es un recurso básico de las comunidades agrícola y debe ser conservado adecuadamente, en caso contrario, se generan pérdidas que afectan sensible y sostenidamente los rendimientos y con ello la vida sociocultural y económica de los pobladores. En las áreas de premontaña se presentan procesos avanzados de erosión que afectan drásticamente el medioambiente.
- El riego por surcos.....
- El riego intermitente....
- As tecnologías construidas para lograr la intermitencia´....
- El vetiver es un pasto rústico tropical, nativo de la India, ampliamente utilizado para la construcción de barreras vivas que controlen la erosión, no se propaga más allá de donde se siembra, sus hojas y sus tupidas raíces forman una densa red que retiene el suelo movilizado y ayudan a que el escurrimiento del agua sea más lento. Es una planta de bajo costo y sencilla aplicación que ha demostrado funcionar en diversas zonas climáticas, tolera la sequía, las plagas y es resistente al fuego.

3. ESTUDIO AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD DE BANAQ

Bajo los conceptos actuales de desarrollo agrícola sustentable se considera como elemento muy importante para la elaboración e implementación de proyectos ingenieriles, el papel que desempeña la población local (hábitos, costumbres, nivel educacional, cultural y de gestión), así como los recursos naturales autóctonos (Cid, 2005) .

Igualmente Gutiérrez (2005), acude a la caracterización del poblador americano del Perú, para descubrir que a través de un lento proceso de experimentación y error en el desarrollo de técnicas hidráulicas las comunidades costeras ayudaron a desarrollar una agricultura intensiva construyendo sistemas de riego complejos.

También González *et al.*, (2005) realizó estudios de eficiencia global de los sistemas de riego y drenaje a partir de encuestas y reuniones con técnicos y pobladores, sobre los cuales propuso un programa de fortalecimiento y modernización de éstos en la provincia de La Habana.

Herrera *et al.*, (2005), para mejorar la eficiencia de uso del agua en el cultivo del frijol en la zona de Velasco, municipio de Gibara, provincia de Holguín, trabajó con 142 campesinos que regaban por surcos y los capacitó en el manejo integrado del ecosistema.

Banao es un núcleo poblacional ubicado en el límite norte de la llanura meridional, que limita al norte con las alturas del mismo nombre, pertenecientes a las montañas de Sancti Spíritus, uno de los dos grupos orográficos en que se divide el macizo montañoso de Guamuhaya. Constituye una zona paisajística, biogeográfica y ecológica transicional de gran importancia, pues la Reserva Ecológica "Alturas de Banao" atesora muestras notables de la biodiversidad natural presente en un ecosistema muy frágil, el montañoso. Allí se desarrollan bosques semidecíduos, bosques siempreverdes, pluvisilvas de montaña, complejo de vegetación de mogote, vegetación de escarpa o farallón y pinares. En estas formaciones vegetales naturales habitan especies endémicas de la flora y la fauna. También algunas especies amenazadas (Hernández, 2006).

La llanura, en cambio, ha sido asimilada para la práctica de la agricultura y la ganadería, por lo que los ecosistemas naturales que allí existían fueron transformados en agroecosistemas de menor estabilidad ecológica.

Por lo antes expuesto es de suma importancia el establecimiento de relaciones armónicas entre la comunidad y su entorno, pues cualquier mal manejo afectaría a la biodiversidad, a la agricultura y a los seres humanos. En este contexto se hace necesario que todo proyecto ingenieril tenga en cuenta la dimensión ambiental.

Los estudios que se presentan fueron realizados en el núcleo fundamental del universo comprendido entre el poblado de "El Pinto" y el entronque Pojabo-Tayabacoa en la vía principal Sancti Spíritus –Trinidad teniendo como centro el pueblo de Banao; en este territorio agrícola de 251 ha se ubicó el área de estudio en las 20 ha de mayor actividad agraria, donde se aplicó un muestreo aleatorio que permitió seleccionar a 9 fincas productoras de aliáceas. Se emplearon diversos instrumentos del nivel empírico como la observación, revisión de documentos, mediciones directas, consulta de expertos y entrevistas.

3.1 Ubicación geográfica

El estudio socioeconómico se desarrolló en la comunidad agrícola de Banao, situada al

sudoeste del municipio y de la provincia de Sancti Spíritus en las coordenadas LE: 216 000-218 000 y LN: 539 000-550 000. La principal vía de comunicación es la carretera que une la ciudad de Trinidad con la capital provincial, en las iniciaciones de la cordillera Guamuhaya, a una distancia de 17 Km. de la ciudad de Sancti Spíritus (figura 3.1). Este agrupamiento poblacional ocupa un área de 251 ha en su núcleo residencial y se sitúa a 40,39 m sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m.).

Los métodos fundamentales empleados en la recolección de datos fueron: la observación, el estudio de documentos de los archivos de la Empresa Cultivos Varios Banao, la medición directa de campo y el empleo de la entrevista no estructurada (Anexo 3.1)

3.2 Área agrícola

Según Santana (2006) el área agrícola total de la zona es de 9 796.6 ha, de las mismas 7 112,6 pertenecen al sector estatal y 2 684 ha al no estatal. El área cultivable es de 4 066.26 ha en el sector estatal, el resto está dedicado a ganadería y forestales. En el sector no estatal el área cultivable es de 1 301.74 ha de las cuales se destinan al cultivo de las oleáceas 402.6 ha como promedio anual.

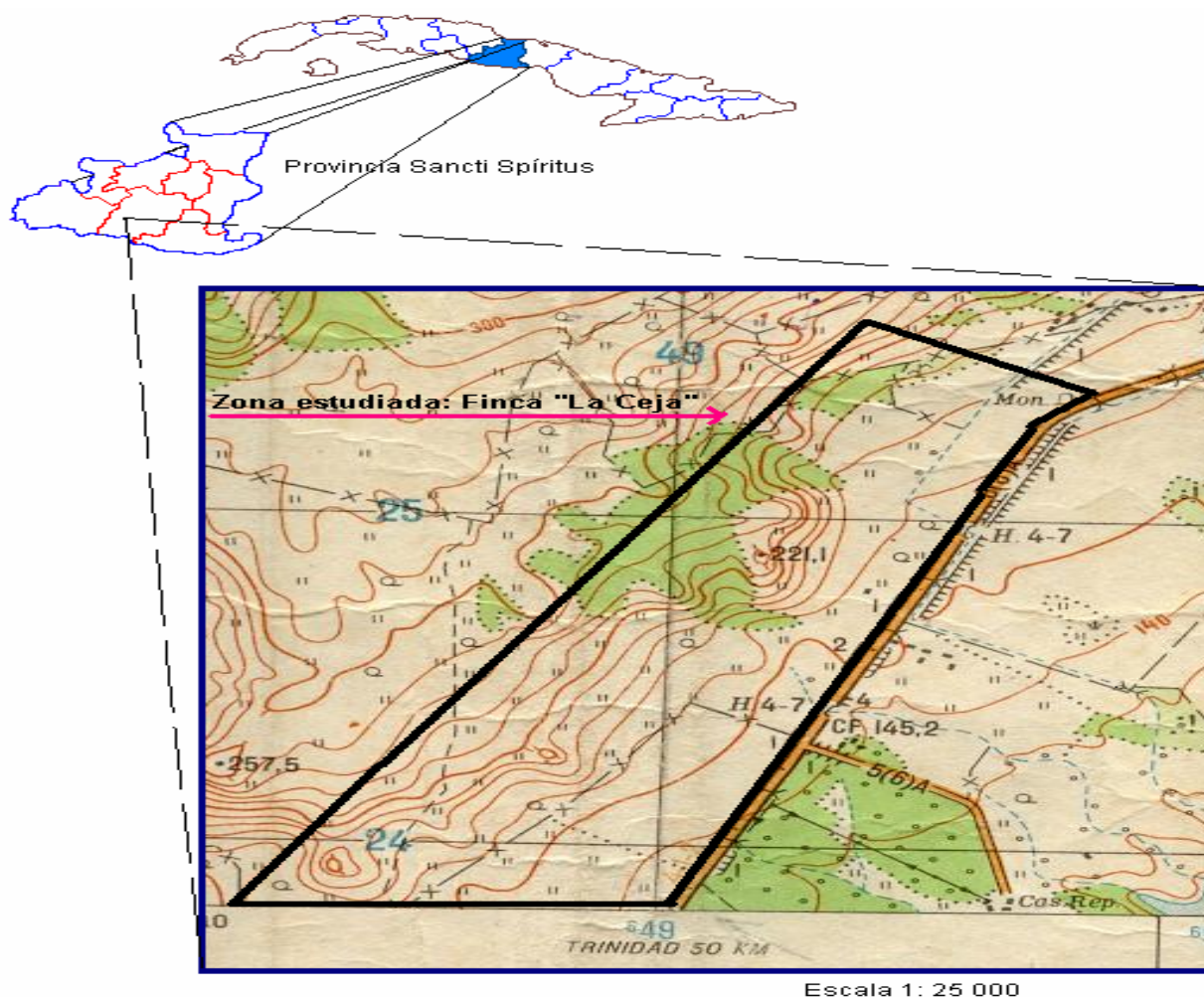


Figura3.1 Ubicación geográfica de la localidad de Banao y área de estudio (Véliz, 2003).

3.3 Población

Según el Departamento de Planificación Física de Sancti Spiritus (2000), la población comprende un total de 4 028 residentes y 1 233 viviendas, para una densidad poblacional de 16 habitantes por ha, con una relación de 3.3 habitantes por vivienda y 4.9 viviendas por ha. La composición por sexo y rangos de edades se presenta en las tablas 3. 1 y 3.2

Tabla 3. 1 .Desagregación de la población de Banao por sexos y edades(años).

0 – 4		5 – 11		12 – 16		17 – 56		17 – 60		> 56		> 60		Totales	
M	F	M	F	M	F	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
79	116	285	177	138	141	1 344	1 460	207	161	2 043	1 985				

En la tabla 3.2 aparecen los datos de la población laboral, residente permanente, pues según Jiménez (2000) en período de cosecha de cebolla la población se incrementa en más de 8 000 personas, siendo significativo la presencia de habitantes transitorios que crean las localmente denominadas “piqueras de

fuerza de trabajo". Viera (2006) al consultar la misma fuente confirma que la población total para esta etapa asciende a 9 415 habitantes.

Tabla 3. 2 Clasificación de la población en edad laboral por sexos y edades.

Sexo	Rango de edad (años)	Individuos
Femenino	17 – 56	1 344
Masculino	17 – 60	1 460
Total		2 804

3.4 Sinopsis idiosincrásica

El análisis de la información recolectada permitió conocer que Banao es un asentamiento netamente agrícola, sus miembros muestran un alto sentido de pertenencia a la localidad, prefieren en su esparcimiento actividades al aire libre, entre otras, las carreras de caballos, las lidias de gallos y el juego de béisbol.

Los agricultores, para abaratar sus cosechas, se basan fundamentalmente en el empleo de agrotóxicos en el deshierbe y el riego por gravedad, lo que significa una reducción de salarios por concepto de eliminación de especies no objeto de cultivo y la adquisición de recursos tecnológicos y energéticos para el riego como tuberías, combustibles y otros. Existe una vasta cultura de las hortalizas, fundamentalmente del ajo y de la cebolla.

El estudio revela que hay una situación favorable en los recursos humanos para mantener, incluso incrementar las producciones de aliáceas en la zona, aprovechando la cultura tradicional sobre el cultivo e introduciendo nuevos conceptos científicos de tendencia ambientalista.

3.5 Cuenca hidrográfica

La zona de estudio está situada dentro de la cuenca hidrográfica Banao, la cual según Cancio *et al.* (1981) presenta las características que se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Características fisiográficas de la cuenca Banao

Indicador	Magnitud
Área de la cuenca (km ²)	152,05
Escorrentamiento promedio (m ³ .10 ⁶)	64,8
Longitud del río (m)	3 2500
Altura media de la cuenca (m)	130
Módulo de Escorrentamiento (L/s/km ²)	13,5
Precipitación promedio (mm)	1733,58

Comparada con las restantes cuencas de la provincia, Banao ocupa el octavo lugar en área, cuarto en escurrimiento, séptimo en longitud del río, noveno en altura sobre el nivel medio del mar y decimoprimeros en precipitaciones promedio.

Se trata de una cuenca pequeña con una fuerte actividad productiva del hombre en sus áreas, sin un ordenamiento adecuado para su manejo, ya que no existe ninguna investigación propia ni introducida para el restablecimiento del equilibrio natural.

Las precipitaciones en la localidad de Banao, para una serie de 35 años (1969 - 2003), muestran una gran variabilidad temporal. Los valores más bajos se presentan en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre donde se centra el ciclo del cultivo de la cebolla y los más elevados en mayo, junio y octubre; aunque en el periodo comprendido entre abril y noviembre, el carácter variable de las precipitaciones es muy notable (Tabla 3.3a).

Tabla 3.3a Estadígrafos de las precipitaciones en la localidad de Banao

Estadígrafo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Media	36,59	48,37	46,35	77,40	251,19	308,89	1733,58
Error típico	6,47	6,94	6,43	13,50	33,77	34,85	85,16
Desviación estándar	38,28	41,04	38,04	79,84	199,77	206,19	503,78
Rango	152,60	168,70	167,00	373,00	993,50	1027,40	2312,70
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	10,60	934,90
Máximo	152,60	168,70	167,00	373,00	1022,50	1038,00	3247,60
Estadígrafo	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Media	175,06	213,25	246,58	231,76	72,68	25,45	
Error típico	15,27	17,26	13,62	35,44	12,56	6,36	
Desviación estándar	90,32	102,10	80,60	209,69	74,29	37,63	
Rango	354,70	472,00	304,10	973,50	320,50	213,00	
Mínimo	39,30	60,00	131,00	36,00	0,10	0,00	
Máximo	394,00	532,00	435,10	1009,50	320,60	213,00	

3.6 Calidad del agua

La fuente de abasto utilizada por los productores de cebolla de la zona es el agua superficial procedente de la micro presa *Cangalito*, la cual se considera apta para el regadío, según algunos indicadores de su composición química (tabla 3.4). De la referida tabla se deduce que el valor del pH indica una ligera alcalinidad. Acorde con Marí (2005) quien enfatiza que esto ayuda a equilibrar la relación ácido – base de estos suelos que son ligeramente ácidos, con pH que oscilan entre 5.5 y 6.5 a la vez que mejora su estructura. Lo anterior puede apreciarse en la disminución que ocurre en el valor del pH medido en la sección inferior del surco, posterior al desplazamiento del flujo de agua a lo

largo de la superficie del suelo humedecido.

Tabla 3.4 **Valores promedios de la composición química del agua**

Indicador	Valor
pH (entrada del surco)	7.87
pH (salida del surco)	7.66
HCO₃ (meq / ppm)	4.30 / 262
Cl (meq / ppm)	0.64 / 23
Ca (meq / ppm)	3.50 / 60
Mg (meq / ppm)	1.4 / 17
Na (meq / ppm)	0.38 / 9
K (meq / ppm)	0.020 / 1

3.7 Influencias de las condiciones climáticas de la zona

En el anexo 3.2 se presentan las variables climatológicas de la zona de Banao según CITMA (2003), la cual hace referencia a valores de precipitaciones y otros elementos del clima como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Se observa que la precipitación media para el período lluvioso es de 1200 – 1 300 mm y de 250 mm para el periodo poco lluvioso. Se aprecia que en los meses de octubre a febrero donde se centra la campaña del cultivo de la cebolla, las precipitaciones son insuficientes para este cultivo.

Doorembos y Kassan (1986) plantean necesidades de 350-550 mm de agua para obtener rendimientos óptimos. Esto confirma que la actividad de riego y su manejo adecuado es imprescindible en el cultivo de la cebolla en estas condiciones debido a: (1) crecimiento reducido ante un exceso de agua; (2) sistema radical somero y limitado; (3) diferentes demandas de agua para los distintos valores de evapotranspiración según las etapas fenológicas, (4) el agotamiento de agua en el suelo no debe exceder del 25% de la capacidad de campo (Instructivo técnico del MINAG, 1983;Lorenzo;2005) y (5) las exigencias de humedad para el desarrollo y de sequedad para la maduración (Hume, 1971)

Las condiciones de humedad relativa en los meses de septiembre y octubre que representan valores de 86% y 85% respectivamente, asociadas a temperaturas por encima de 26°C, crean condiciones propicias para la incidencia de plagas fungosas y bacterianas, por lo que la tendencia a siembras tardías (noviembre - diciembre) planteadas por Marí y Hondal (2001) encuentra su explicación en este fenómeno. Se confirma

que el cultivo de la cebolla es dependiente del riego en todo su ciclo y se revela la unicidad de criterios en cuanto a que el riego por surcos es el único que debe utilizarse en este cultivo por razones sanitarias y económicas(Santana *et, al.* 2002).

3.8 Producción organizada de cebolla

La producción de cebolla ha transitado por diferentes formas organizativas, siempre muy vinculadas a los pequeños propietarios de tierra y aunque en la década de los 80 el sector estatal asumió la mayor cantidad de áreas de este renglón agrícola, se fue imponiendo progresivamente la producción en pequeñas parcelas y ya en la campaña 98-99 la Empresa Estatal eliminó de sus planes productivos este cultivo y el sector campesino adquirió la responsabilidad de su producción a través de Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA) y Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS). La participación de la Empresa Estatal, es a través de la venta de los agroquímicos a los productores y la comercialización de la cosecha.

Otra forma organizativa para la producción de cebolla es la Granja Urbana, formada por un grupo de cultivadores de cebolla, no propietarios de tierra, que obtienen el bulbo en pequeñas parcelas ubicadas en patios, áreas marginales, vinculados a los sectores campesino y estatal. Este colectivo en su primera cosecha (1999 - 2000) asombró con el volumen de cebolla producida ascendente a 1 227 t en 134.2 ha (Iznaga, 2003).

Actualmente el cultivo de la cebolla en la localidad de Banao está organizado de la forma que sigue:

- Sector campesino (Productor).
- Granja urbana (Productora).
- Empresa de Cultivos Varios (Proveedora de insumos y comercializadora de la cosecha comprometida en planes de producción).

3.8.1. Composición del sector campesino

El sector campesino productor de cebolla está integrado por ocho cooperativas: seis de Créditos y Servicios (CCS) y dos de Producción Agropecuaria (CPA). El área y el número promedio de productores dedicados al cultivo de la cebolla por cooperativa, están contenidos en la tabla 3.5

El Sector Campesino utiliza un promedio de 1.05 hombres/ha de cebolla cosechada. Para hacer este análisis se consideraron solamente las CCS, puesto que en las dos CPA la producción es colectiva y no están delimitados los productores; este sector utiliza a razón de 0.18 hombres más por hectárea que la Granja Urbana, que como se apreciará más adelante utilizó 0.86 hombre/ha.

Tabla No.10 Área y número de productores dedicados al cultivo de la cebolla.

Cooperativa	Área dedicada al cultivo (ha)	No. de productores
CPA "Ramón Puerta"	13,42	*
CPA "Frank País"	13,42	*
CCS "Ramón Pando"	80,52	90
CCS "Julio Calviño"	73,81	72
CCS "Manuel González"	73,81	58
CCS "Mártires del Granma"	5,36	09
CCS "Francisco Moya".	4,02	13
CCS "Faustino Echemendía"	4,02	14
Total	268,40	256

*Producción colectiva.

3.8.2. Programa de riego

El intervalo de riego que utilizan los productores oscila entre tres y cinco días, siendo cuatro días el valor mas frecuente. La frecuencia deseada por los agricultores, es de tres días; pero la carencia de agua o de energía es la que los condiciona a regar con frecuencias mayores de cinco días; sin embargo los que disponen de sistemas gravitacionales y caudales suficientes acortan el intervalo incluso a dos días.

3.8.3. Cultura de la cebolla

Los productores tradicionales de cebolla en Banao como regla general realizan la preparación de suelo por el método tradicional, surcan a favor de la pendiente y establecen distancias de plantación que oscilan entre 0.30 – 0.40 m y 0.08 – 0.10 m.

Practican el riego por gravedad y surcos, sin control de los caudales y sin avizorar la erosión hídrica del suelo que se hace evidente en la turbidez del agua de regadío.

El desyerbe generalmente lo realizan por el método químico y en menor escala de forma mecánica, durante los primeros estadios de la plantación.

Para el control fitosanitario del cultivo emplean profusamente los agrotóxicos aunque está *in crescendo* el empleo de biopreparados y otras alternativas. Los productores suelen realizar estimados de sus producciones, basándose en la campificación de su área, de este modo, para variedades comerciales plantean obtener, como promedio, 11.5 kg. en 20 m de longitud de surco, lo que equivale a 16 t/ha considerando el peso total del bulbo con las hojas.

En el territorio se cultiva un gran número de variedades y se han realizado investigaciones con nuevos cultivares; sin embargo las variedades *Texas*, *H-60* y *Yellow Granex Híbrida* se han arraigado durante décadas, siendo la primera la más difundida y estable de todas. En los últimos años la variedad local Caribe-71 ha tenido la mayor aceptación y en la medida que la disponibilidad de semilla se incrementa, promete ser la especie del futuro entre las cebollas rojas que se cultivan en Banao.

3.8.4 Tamaño de la parcela

Según el estudio realizado para la campificación tradicional en las zonas aledañas y en el interior del poblado, la parcela promedio es de 18.9 m x 13 m, lo que representa subdivisiones del campo en bloques de aproximadamente 245 m², adecuados para el manejo del riego en las condiciones de terreno existentes (tabla 3.6) y se asemeja a los resultados obtenidos por Santana y Cáceres (1995).

Tabla 3.6 Características de la parcela tradicional para el cultivo de la cebolla.

Nombre del propietario	Varietal de Cebolla	Áreas (ha)	Número de Bloques de Riego	Ancho del Bloque (m)	Largo del Bloque (m)	Bloque medio (m)
Hernán León	H - 60	0,359	3	20 - 15	16 - 10	18 x 13
Marcos Jiménez	H - 60	0,455	4	23 - 19	15 - 11	20 x 13
Roselio Toledo	Texas	0,455	4	21 - 18	15 - 12	19,5 x 13,5
Osmel León	Caribe-71	0,2275	—	—	13 - 11	—
Ramón Pérez	YGH	0,359	—	20	14	20 x 14
Mario León	YGH	0,2275	2	18 - 14	14 - 10	16 x 12

3.9 Profundidad efectiva del sistema radical

Según investigaciones realizadas en las zonas de estudio, las cuales aparecen reflejadas en la tabla 3.7 y anexos 3.3 al 3.9 se observa a partir de los datos obtenidos por Santana y Rodríguez (1998) que las plantas no superan las 60 raíces y las longitudes de estas no superan los 25 cm de espesor de suelo, estando el 64% de las mismas en los primeros 5 cm para la variedad *Yellow Granex Híbrida* y el 74% para la variedad *Texas*. En los posteriores cinco a diez centímetros se encuentra el 25% y el 19% de las raíces para la *Yellow* y la *Texas*, respectivamente mientras que de 10 a 15cm se encuentra el 10,6 y 7% para las variedades citadas. Sólo un 0,4% de las raíces supera los 15 cm en la variedad *Yellow Granex Híbrida* mientras en la *Texas* no se registra valor alguno.

Tabla 3.7 Comparación entre variedades para el estudio de la capa activa.

Varietal		0-5 (cm)	5-10 (cm)	10-15 (cm)	15-20 (cm)	Total
YGH	Número de raíces	30	12	5	0,2	47
	%	64	25	10,6	0,4	
Texas	Número de raíces	32	8	3	—	43
	%	74	19	7	—	

3.10 Caudal promedio

Se determinó el caudal medio (Q) con el vertedor triangular de 40 cm de base, 25 cm de altura total, carga total de 15 cm (H) y escotadura de 90°. Se empleó la ecuación de Francis (Israelsen y Hansen, 1970) para la determinación de su magnitud.

$$Q = 1.38. H^{5/2}$$

Donde Q es el caudal que pasa por el vertedor (L/s) y H el tirante o altura del agua en el vertedor (cm).

Se encontró que el caudal manejado por los productores varía desde 0.014 - 0.441 L/s. y se entrega en grupos de cuatro a seis surcos (*piquetes*), utilizando azadas y la colocación de obstáculos naturales en el terreno (fundamentalmente piedras) para su distribución. El pase de agua de un subcampo a otro es a través de los propios surcos, por lo que la lámina de agua permanece mucho tiempo sobre el surco antecesor que sirve de conductor, provocando problemas de sobrehumedecimiento.

3.11 Geometría del surco

La caracterización geométrica del surco se realizó en las secciones alta, media y baja de cinco surcos representativos seleccionados en una parcela de la finca La Ceja en las inmediaciones de la Cooperativa de Créditos y Servicios Julio Calviño y la Granja Urbana Banao, mediante la utilización del perfilómetro (Moreno, 1995; Santana *et al.* 2003; Castellón, 1998; Abréu, 1998; Brown, 2000 y Girmachew, 2003) antes y después del riego para cuantificar las transformaciones ocurridas en el perfil trasversal del surco. Este procedimiento se repitió en los subsiguientes eventos de riego.

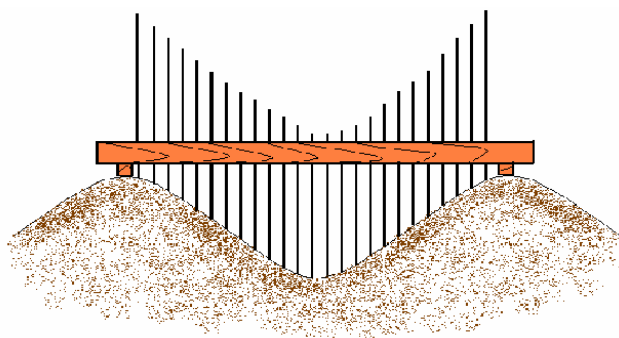


Figura 3.2 Perfilómetro.

Los datos obtenidos permitieron determinar los parámetros de la geometría del surco a través de procedimientos estadísticos matemáticos (tabla 3.8). Las variables representadas son el ancho superficial de la lámina de agua (B), perímetro (P) y área (A), también la tabla muestra las funciones, exponentes y coeficientes para las variables B , P y A .

Tabla 3.8 características geométricas del surco.

Variable	Función	Coficiente	Exponente	R^2
B	$B = cy^m$	1.3085	0.5903	0.9825
P	$P = \sigma_1 y^{\sigma_2}$	2.1466	0.6625	0.9867
A	$A = \sigma_1 y^{\sigma_2}$	0.8531	1.6002	0.9990

Nota: y es la altura de la lámina de agua sobre el surco.

3.12 Peso de los bulbos comercializados

El peso de los bulbos frescos comercializados se obtuvo en dos momentos: uno a inicios de febrero donde se eleva la demanda de cebolla y se realiza precozmente la extracción de la cosecha y otro a finales de

marzo donde es más común la cosecha cuando el follaje se desmaya y el bulbo alcanza su madurez (anexos 3.9 y 3.10). Este resultado se basa en estudios realizados por [Arahi y Santana \(2000\)](#) y [Meléndez et al., \(2003\)](#) a partir de una muestra de 576 bulbos medidos en los mercados de Banao, Sobral, Camino de la Habana y Copelia.

En el anexo 3.9 se observa que los bulbos no alcanzaron la madurez; pero fueron extraídos debido a la inmediata venta que realizan los productores según la demanda en esa época. Si se compara la media de 16 gramos de los bulbos cosechados precozmente contra 108.20 g que es el valor promedio de un bulbo en el momento óptimo de cosecha, es fácil inferir que se produce una pérdida en los rendimientos superior a los 90 g por bulbo, lo que representa un valor próximo al 92% del rendimiento real; o sea, que por este concepto se reduce drásticamente la producción en especies. Esto se relaciona con lo planteado por Huerres y Carballo (1991) al referirse a la relación que existe entre el rendimiento y el momento óptimo de la cosecha.

3.13 Materia seca

Durante el secado de los bulbos maduros procedentes de los campos en cosecha de la variedad *Yellow Granex Híbrida*, se aplicó una temperatura constante de 110⁰C en estufa hasta obtener peso constante, valor que se alcanzó alrededor de las ocho horas y cuya secuencia se estableció como aparece en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Formación de materia seca. Resultados del pesaje

Hora	Resultados del pesaje (g)
8:00 am	1 450
11:00 am	700
12.00 am	500
1.00 pm	400
1:30 pm	350
2:30 pm	350
3:30 pm	340
4:00 pm	330
4:30 pm	320.8

El peso promedio del bulbo fresco fue de 76 g y seco de 6,6 g por lo que la materia seca representó el 8.68 del valor total. Esto coincide con lo encontrado por Huerres y Carballo (1991) para este tipo de cebolla.

4. ESTUDIOS HIDROFÍSICOS E HIDRODINAMICOS DEL

PERFIL DE SUELO.

La degradación del suelo en el área de estudio se produce aceleradamente por el desconocimiento del agricultor que utiliza en forma inadecuada prácticas agrícolas 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. De este modo los estudios existentes sobre los suelos tienen una considerable obsolescencia y es necesario acometer estos para lograr veracidad en las pruebas que se realizan con vistas a los proyectos ingenieriles.

En correspondencia con lo anterior, Rosenfeld *et al.*, (2005) enfatiza en este tipo de actividad al realizar estudios de Sistema de Riego Ecológico Autónomo (SREA) con caudal impuesto en el cultivo de la cebolla, en la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Reyes y Pujol (2005), consideran un elemento de primerísima importancia el estudio de las características del suelo en la aplicabilidad de los sistemas de riego por superficie.

Dada la imposibilidad de obtener datos confiables sobre los suelos objeto de estudio, en bibliografía o aportados por instituciones dedicadas a la actividad, se hace necesario la creación de instrumentos y aportes conceptuales que permitan superar estas dificultades mediante los criterios de una ingeniería posible.

Se crearon dispositivos para la determinación de la densidad del suelo y la infiltración del suelo a partir de las normas establecidas en el país y avaladas por criterios de especialistas como Juan Pacheco (UCLV); Pedro Cairo (UCLV); Onelio Fundora (UCLV); Oscar Brown (UNICA); Feliciano R. Sanzo (IIA); Pedro F. Fuentes (CUSS); Eduardo Castellón (ENPA); Humberto Moreno (ENPA); Bagué (DPSF), los cuales confirman la utilidad del empleo de estos dispositivos en la determinación de las características del suelo.

Se explican con rigor científico los resultados, que constituyen aportes al conocimiento

sobre las características físicas del suelo, afectado por los impactos negativos de las acciones antropogénicas, permitiendo la actualización de la información utilizada por el Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes de la provincia de Sancti Spíritus. El estudio se realiza en la finca la Ceja de la localidad de Banao sobre un suelo Pardo con Carbonato el cual representa el 52.8 de los tipos de suelos dedicados al cultivo de la cebolla (Viera 2006)

4.1 Densidad del suelo

El valor de la densidad del suelo (ρ) definida como la relación entre el peso del suelo seco en su estado natural, incluyendo los poros, (Israelsen,1970; Dueñas, 1981, Pacheco, 1995; Cabrera, 2002) se determinó empleándose el equipo diseñado por Castellón y Santana (1997) el cual permite el estudio de esta característica física sin afectarla significativamente. Las muestras se obtuvieron en una calicata en forma de escalera donde se introdujo el dispositivo en las diferentes capas de 10 cm hasta la profundidad de un metro (**figura 4.1**).

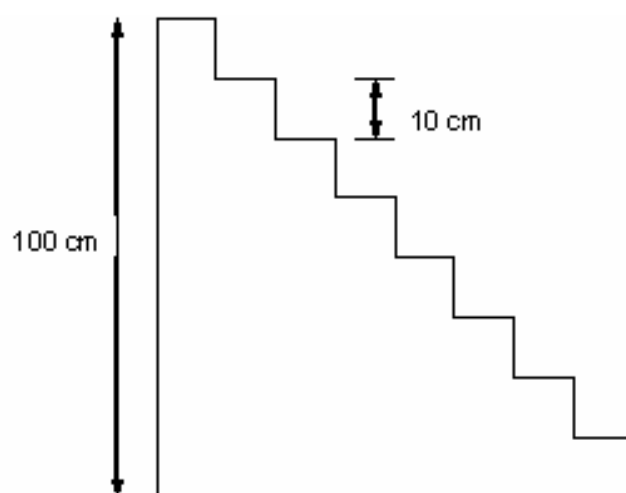


Figura 4.1 Representación esquemática de la calicata para la toma de muestras.

La toma de muestras se realizó por medio de cilindros de 71,5 cm³ de volumen total, los cuales penetran mediante impactos que reciben por la parte superior. La penetración del cilindro se facilita debido a que el borde inferior es afilado con un bisel exterior. Para

garantizar la estabilidad del avance del anillo en la posición vertical y evitar su deformación por los golpes directos del martillo se construyó un cilindro guía en el cual se aloja el cilindro para la toma de muestra y un cilindro de empuje donde se producen los impactos.

La figura 4.2 es una representación esquemática de los componentes fundamentales del dispositivo anteriormente señalado donde (a) es la vista lateral que representa la base del dispositivo (15.50 x 10.70 cm) con el cilindro guía (diámetro de 5.10 cm, altura de 4.50 cm), (b) la vista frontal, (c) el cilindro biselado para la toma de muestras inalteradas (diámetro 4.50 cm , altura 4.50 cm, espesor 0.50 cm) y (d) el cilindro de empuje (diámetro inferior 5.00 cm, diámetro superior 6.50 cm, altura de penetración 5.00 cm, altura total 6.20 cm).

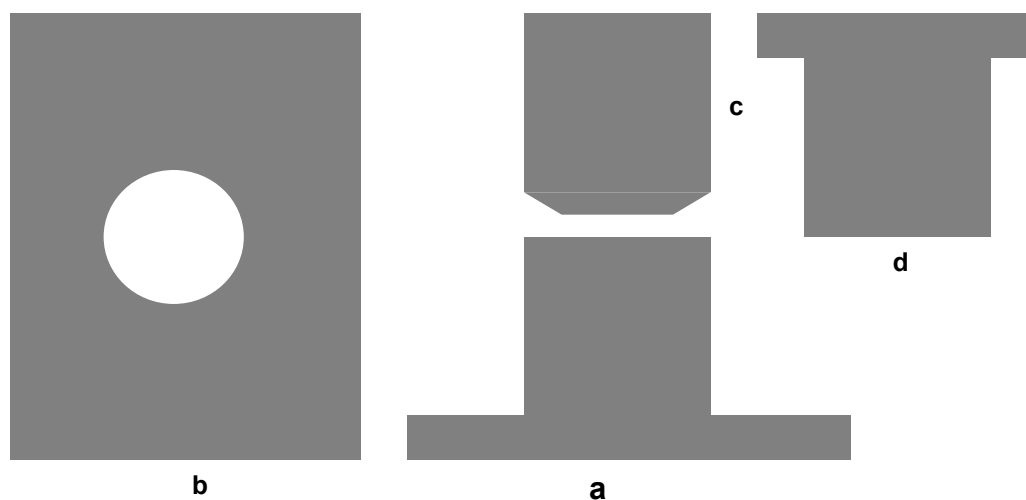


Figura 4.2 **Dispositivo para la determinación de la densidad del suelo.**

Una vez que ha penetrado el cilindro en la capa de suelo correspondiente se procede a su extracción por medio de excavaciones alrededor y por debajo de este, delimitándose la muestra en los bordes del cilindro con un cuchillo. Se continúa con el secado durante 24 horas a 105 °C y la determinación analítica de la densidad del suelo para los diferentes perfiles (tabla 4.1). El valor definitivo se fijó por el procedimiento estadístico matemático de la media ponderada sugerido por Brown, (2003):

$$\rho = \frac{\rho_1 H_1 + \rho_2 H_2 + \dots + \rho_n H_n}{H_1 + H_2 + \dots + H_n}$$

4.1

Donde ρ_i son los valores de densidad para las diferentes capas de suelo y H_i las profundidades efectivas correspondientes.

Tabla 4.1 Valores de densidad del suelo.

Profundidad (cm.)	Masa pesa-filtro, MPF (g)	MSS + MPF (g)	MSS (g)	ρ (g/cm ³)
0-10	21.50	65.48	43.98	1.36
	21.31	74.90	53.59	
10-20	22.66	75.23	52.57	1.60
	26.18	88.61	62.43	
20-30	23.05	65.62	42.57	1.55
	25.05	93.97	68.92	
30-40	23.19	70.66	47.47	1.55
	21.50	85.14	63.64	
40-50	21.23	45.48	24.25	1.68
	23.40	119.42	96.02	
50-60	23.34	91.20	67.86	1.90
	22.92	91.30	68.38	
60-70	22.27	84.65	61.88	1.74
	23.27	86.50	63.23	
70-80	23.60	69.05	45.45	1.31
	21.32	70.18	48.86	
80-90	22.94	52.66	29.72	1.52
	23.40	102.75	79.35	
90-100	23.06	69.91	46.85	1.47
	23.58	82.41	58.83	

Nota: MPF es la masa del pesa-filtro; MSS es la masa del suelo seco

Como se observa en la tabla 4.1, los valores obtenidos de densidad del suelo están en el rango de 1.36 – 1.68 g/cm³ en los primeros 50 cm de profundidad. Sobre este comportamiento varios autores han descrito rangos similares para esta propiedad, entre ellos Israelsen y Hansen, (1970); Dueñas *et al.*, (1981), Pacheco *et al.*, (1995); sin embargo la existencia de valores por encima de 1,36 g/cm³ en todos los casos y de hasta 1,90 g/cm³ explica la pérdida de gran parte del horizonte orgánico. Esto se

corroborar con la descripción del suelo del área realizado por el Instituto de Suelos de la Academia de Ciencias de Cuba (1975) y Ríos (2005). También se manifiesta de forma práctica a través de la resistencia que ofrece el suelo a la penetración de la barrena durante la extracción de las muestras; operación esta que se hace imposible a profundidades mayores de 0,60 metros. La existencia de valores altos de densidad del suelo es también un indicador de la compactación del suelo debido, entre otros factores, a la conocida tractorización que a partir de finales de la década de 1960 y hasta inicios de la década de los años 90 existió en el área de estudio (Bagué, 2005 y Ríos, 2005).

La alta densidad del suelo refleja un inadecuado porcentaje de microporosidad, lo que repercute en la capacidad de retención de agua por el suelo, en la capacidad de infiltración y en el desarrollo radicular del cultivo. El valor medio ponderado de $1,59 \text{ g/cm}^3$ justifica la necesidad de utilizar caudales pequeños y la adopción de medidas de conservación y mejoramiento del suelo.

4.2. Capacidad de campo

Los valores de capacidad de campo, descrita por Israelsen (1970) y Dueñas (1981) como la máxima cantidad de agua que retiene el suelo en contra de las fuerzas de gravedad en un tiempo comprendido entre 24 y 72 horas después del suministro con el propósito de alcanzar el estado de saturación, se obtuvieron mediante el método de la plazoleta de inundación (Cid, 1988; García *et al.*, 1996a). En el presente estudio se utiliza una plazoleta de un m^2 con corrugaciones en forma de surcos a los cuales se les suministra agua durante ocho horas.

Las muestras para la determinación del contenido de humedad se tomaron a las 48 y 72 horas posteriores a la inundación por medio de una barrena edafológica tipo sonda a diferentes profundidades en el rango de 0 - 1 m. Las pesadas consecutivas realizadas se

llevaron a cabo con una balanza analítica digital modelo Joyeros Stavol de 0.1 gramos de tolerancia.

En los primeros 20 cm de profundidad (tabla 4.2) los valores de capacidad de campo (Cc) son adecuados para este tipo de suelo al compararse con lo que informa Bagué (2006) en estudios realizados por la Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes, lo que favorece el cultivo de la cebolla teniendo en cuenta las características del sistema radicular de ser superficial (Guenkov, 1969; Huerres y Carballo, 1991; Santana *et al*, 1998); sin embargo disminuye drásticamente en las profundidades subyacentes, condicionando bajas capacidades de retención de agua en el suelo. Bajo este comportamiento el agua disponible y fácilmente utilizable por el cultivo se agota en un tiempo relativamente corto.

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

Prof. (cm)	MPF (g) a	MPF + MSH (g) b	MSS + MSH (g) c	MA (g) b - c	MSS (g) c - a	$\frac{b - c * 100}{c - a}$	Cc %
0-10	23.49	78.55	65.10	13.45	41.61	32.32	35.48
	23.05	100.78	79.11	21.67	56.86	38.65	
10-20	25.15	97.63	78.64	18.99	53.49	25.50	35.00
	25.23	91.52	74.52	17.00	49.29	34.49	
20-30	22.77	80.93	68.63	12.30	45.86	26.81	27.94
	22.91	96.31	79.78	16.53	56.83	29.07	
30-40	23.40	83.14	73.04	10.10	49.64	20.34	21.04
	23.60	87.87	76.39	11.48	52.79	21.74	
40-50	23.68	91.53	80.00	11.53	56.32	20.47	19.33
	21.46	73.74	65.69	08.05	44.23	18.20	
50-60	22.41	71.05	66.46	04.59	44.05	10.41	10.92
	23.81	75.63	70.31	05.32	46.50	11.44	

No
ta:
MP
F
es
la
ma
sa
del
pe
saj
iltr
o;
MS

H es la masa del suelo húmedo; MA es la masa del agua

Los valores de capacidad de campo representan magnitudes relativamente bajas para esta característica física en este tipo de suelo en el perfil de 60 cm (24,9 % bss), debido a los efectos del fenómeno de degradación del suelo explicado anteriormente. La presencia de rocas a partir de los 30 cm incide directamente en cada una de las

profundidades subyacentes estudiadas. A partir de los 60 cm la rocosidad del perfil impide la introducción de la barrera para la toma de muestras.

Este resultado conjugado con los valores promedio de evapotranspiración del cultivo de cebolla en la localidad de Banao que es de 4.0 mm/d (Pacheco y Santana, 2006) justifica los valores empíricos de intervalos de riego comprendidos entre dos y cuatro días reportados por los productores de esta comunidad durante el diagnóstico realizado.

El valor de capacidad de campo es de 35.48 % bss en los primeros 10 cm de suelo donde se encuentra el mayor porcentaje de raíces activas de la cebolla; no obstante, según experiencias de Santana *et al.*, 1998 es recomendable utilizar un valor de 32.8 % bss, correspondiente al perfil de 30 cm de espesor de suelo.

4.3 Infiltración mediante el método de Kashinski

Para la determinación de la velocidad de infiltración básica se utilizó el método de Kashinski que consiste en construir tres surcos de un metro de longitud y espaciamiento igual al marco de siembra del cultivo, definiéndose los dos surcos exteriores como compensadores. En el surco central se efectúan las mediciones y se delimita la longitud unitaria con dos láminas metálicas (Cid, 1988).

Como variación a este método, se utilizó Kashinski modificado por Santana y Castellón (1995) y Pacheco (1996) consistente en reducir la longitud de los surcos a 0,50 m, con el propósito de encontrar una lámina de agua en el surco que fuera similar a la que se produce dentro del riego superficial. Esto permitió que el volumen de agua vertida entre lecturas (un litro) fuera menor y que la exactitud de las mediciones fuera mayor, al lograrse la estabilidad de la lámina.

Para el cálculo de la velocidad de infiltración se utiliza la fórmula siguiente:

$$I = \frac{V}{t.P_m.L}$$

Donde I es la velocidad de infiltración (mm/h); V el volumen de agua aplicado (L); P_m el perímetro mojado (m) y L la longitud del surco fijada para el desarrollo de la prueba de infiltración (m) y t el tiempo en que se infiltra el volumen aplicado (min.).

El contenido de humedad presente en el suelo en el momento de la prueba de infiltración fue determinado por el método gravimétrico y sus valores corresponden con la humedad existente en el suelo tres días después de haberse alcanzado la capacidad de campo, encontrándose próxima al límite productivo (tabla 4.3). La búsqueda de estos valores de humedad significa garantizar que la prueba de infiltración se realice en condiciones reales de la parcela de regadío según lo recomendado por Pacheco (1996).

Si se analizan los valores de humedad presente en los primeros 10 cm de suelo donde la cebolla tiene el mayor porcentaje de raíces activas (Santana *et al.*, 1998) y se comparan con los de capacidad de campo para esa profundidad, se comprueba que la humedad presente para la realización de la prueba de infiltración coincide con lo que verificaron Doorembos y Kassan (1986), referido a que la humedad disponible debe estar próxima al 25% bss y también se corresponde con lo recomendado por el Instructivo Técnico del Cultivo de la Cebolla (1983).

Tabla 4.3 Contenidos de humedad durante la prueba de infiltración

Profundidad (cm)	MPF + MSH (g) b	MSS + MSH (g) c	MA (g) b-c	MSS (g) c-a	$\frac{b - c * 100}{c - a}$	%
0-10	94.55	80.47	14.08	57.34	24.55	25.61
	105.39	88.76	16.63	62.34	26.68	
10-20	84.02	75.15	08.87	50.30	17.63	18.21
	79.50	70.90	08.60	45.75	18.79	
20-30	80.67	72.58	08.09	49.54	16.33	16.01
	79.13	71.51	07.60	48.39	15.70	
30-40	81.67	73.76	07.91	50.54	15.16	13.58
	88.80	81.73	07.07	58.82	12.01	
40-50	90.75	85.99	04.76	63.47	07.49	06.63
	88.55	84.96	03.59	62.06	07.78	
50-60	87.84	84.34	03.50	61.72	05.67	05.22
	93.41	90.13	03.28	68.69	04.77	
60-80	90.00	82.44	07.50	58.84	12.79	11.47
	96.84	89.83	07.00	68.52	10.21	

80-90	72.35	67.90	04.45	44.79	09.93	09.09
	84.10	79.46	04.64	56.24	08.25	
90-100	73.90	67.61	06.29	44.19	14.23	20.37
	79.22	67.43	11.79	44.46	26.51	

Nota: MPF es la masa del pesafiltro (a).

En la tabla 4.4 se exponen las características de infiltración del suelo antes de la aplicación del tercer riego; pues el primero en el cultivo de la cebolla o de pre - siembra, requerido para trasplantar la postura en el campo de producción, no se utiliza en el procedimiento de cálculo por no ser representativo. El ajuste de los datos de I respecto a t , se corresponde con un modelo potencial con alto coeficiente de determinación, superior a 0.99. La expresión anteriormente referida es:

$$I = 3.585945 t^{-0.5274707}$$

4.3

Los resultados sobre velocidad de infiltración ofrecidos en la tabla 4.4 se comparan con los valores publicados por Pacheco *et al*, (1995) para diferentes clases de suelos, permitiendo su validación ya que son comparables entre sí. Estos autores señalan valores de 0,05 - 0,03 m/día para suelos de baja velocidad de infiltración.

Tabla 4.4 Velocidad de infiltración.

Observación	Tiempo acumulado (min.)	I (mm/min.)
01	02.33	0.000228
02	07.08	0.0001277
03	13.75	0.0000915
04	20.42	0.0000737
05	27.42	0.0000624
06	35.02	0.0000541
07	43.58	0.0000492
08	51.88	0.0000451
09	61.43	0.0000403
10	70.38	0.0000337
11	79.05	0.0000359
12	88.70	0.0000337
13	98.43	0.0000322
14	107.12	0.0000301
15	117.23	0.0000293
16	126.15	0.0000273
17	135.98	0.0000269
18	144.87	0.0000263
19	154.55	0.0000251
20	165.27	0.0000246
21	175.75	0.0000233

22	185.22	0.0000229
----	--------	-----------

4.4 Pruebas de avance

4.4.1 Avance del agua en el riego continuo

Las pruebas de avance se realizaron en 25 surcos seleccionados, a los que se les aplicó un caudal de diseño mediante sifones a partir de un zanjillo nivelado con pendiente próxima a cero, construido en el extremo superior de la parcela permitiendo garantizar una carga hidráulica de 10 - 15 cm sobre los surcos.

Los datos necesarios para la prueba se obtuvieron en grupos de tres surcos en cada una de las estaciones colocadas cada cinco metros hasta alcanzar la distancia máxima de 30 m. En el surco central se realizaron las mediciones, cuidando que el comportamiento de los surcos laterales fuese similar al surco central.

La estación cero del surco evaluado fue considerada a partir de dos metros de separación del zanjillo, lugar donde se colocó un vertedor triangular para medir el caudal de entrada q_o (L/s) a través de la ecuación de ecuación de Francis.

$$q_o = 1,38. H^{5/2} \quad 4.4$$

Donde H es la carga de agua medida a partir del vértice del vertedor (m).

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 y se midió el caudal estabilizado q_s (L/s).

4.4.1.1 Modelo de avance en el riego continuo

El modelo de avance se supone de tipo potencial $t = ax^b$, determinándose los coeficientes de ajustes a y b mediante la técnica estadística de regresión lineal a partir de los datos de distancias y tiempos medidos al realizar la prueba de avance durante el riego. Se empleó el sistema *SPSS: Statistical Package for the Social Science*, versión

7.5 para Windows.

Las características de pendiente, suelo y caudales utilizados no permitieron mediciones estacionales de la recesión ya que la lámina de agua desapareció instantáneamente en las diferentes estaciones, cuestión encontrada por otros investigadores, por tanto se decidió asumir esta función de forma lineal a partir del tiempo de corte del caudal.

En la tabla 4.5 se aprecia una adecuada correspondencia entre los diferentes caudales aplicados en los surcos evaluados y el tiempo de avance en el extremo final de los mismos; siendo lógico que si en el surco número dos al que se le aplicó un caudal de 0,116 L/s, acumulara un tiempo de 5,67 minutos para que la lámina de agua alcanzara la estación cinco ubicada a 25 metros del inicio del surco; entonces en el número 10 con un gasto próximo al doble del surco número 2 acumulara un tiempo cercano a la mitad de aquel.

Los altos coeficientes de determinación validan la elección del modelo potencial para la estimación del avance del frente de humedecimiento bajo estas condiciones de estudio.

Tabla 4.5 **Avance del flujo de agua en el riego continuo.**

Surco	Número del surco								
	2	5	7	10	13	16	19	22	24
q_o (L/s)	0.116	0.172	0.215	0.223	0.228	0.286	0.254	0.142	1.79
L (m)	Tiempo de Avance (min.)								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.83	0.45	0.50	0.43	0.48	0.38	0.43	0.67	0.06
10	1.88	0.95	0.93	0.77	0.93	0.78	0.83	1.20	0.14
15	2.92	1.42	1.43	1.17	1.38	1.15	1.43	1.78	0.24
20	4.00	2.37	2.13	1.75	1.87	1.53	2.00	2.68	0.36
25	5.67	3.58	3.00	2.78				3.87	0.50
q_s (L/s)	-	-	0.014	-	-	0.038	-	-	0.592
Modelo de avance tipo $t = ax^b$									
a	0,342	0,231	0,227	0,204	0,209	0,183	0,204	0,267	
b	0,786	0,708	0,698	0,676	0,671	0,644	0,670	0,730	
R^2	0,995	0,998	0,993	0,991	0,997	0,996	0,994	0,995	

Nota: q_o es el caudal aplicado y q_s el caudal estabilizado medido en el final del surco.

La diferencia entre el tiempo total de avance en el surco y los valores del tiempo de avance en cada estación producen el tiempo de oportunidad de infiltración (tabla 4.6).

Tabla 4.6 Tiempo de oportunidad de infiltración.

Surco	Número del surco								
	2	5	7	10	13	16	19	22	24
q_o (L/s)	0.116	0.172	0.215	0.223	0.228	0.286	0.254	0.142	1.79
L (m)	Tiempo de oportunidad (min.)								
0	5.67	3.58	3.0	2.78	1.87	1.53	2.0	3.87	0.5
5	4.84	3.13	2.50	2.35	1.39	1.15	1.57	3.20	0.44
10	3.79	2.63	2.07	2.01	0.94	0.75	1.17	2.67	0.36
15	2.95	2.16	1.57	1.61	0.49	0.75	0.57	2.09	0.26
20	1.67	1.21	0.87	1.03	0	0	0	1.19	14
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la figura 4.3 se presentan las curvas de $a = f(q_o)$ y $b = f(q_o)$ a partir de los valores obtenidos en la pruebas de campo. Con estas curvas fue posible obtener por interpolación los valores de a y b que se utilizaron para el diseño a partir del caudal elegido.

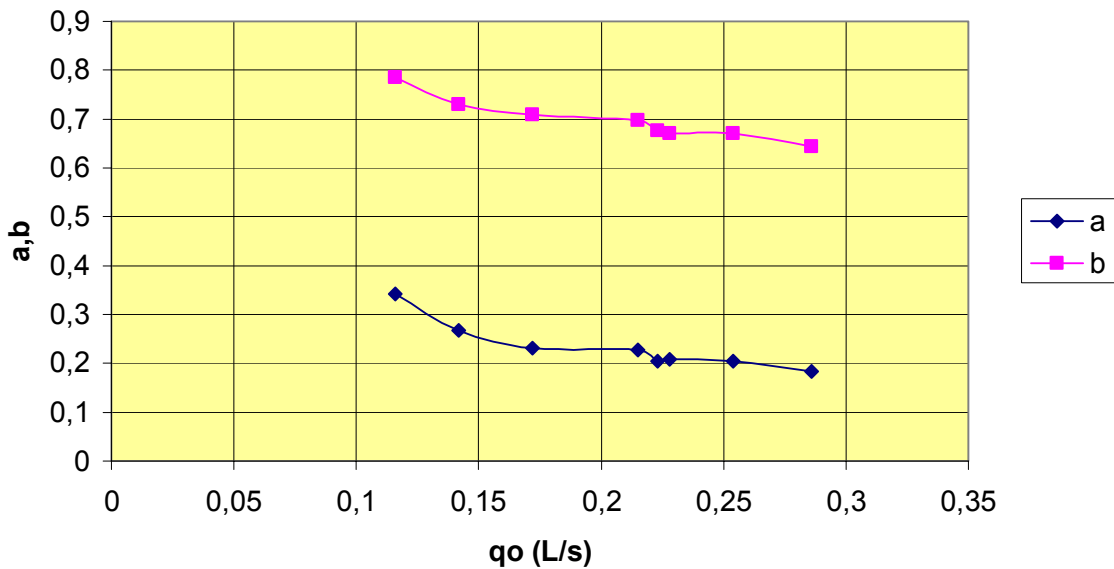


Figura 4.3

Curvas de infiltración del agua en el suelo.

4.4.1.2 Velocidad del agua en el surco en condiciones de flujo continuo

Los valores promedios de la velocidad del agua en el surco se obtienen a partir de la división de su longitud entre el tiempo total de avance para alcanzar el extremo final (tabla 4.7).

Tabla 4.7 Velocidad del agua en el surco con riego continuo

Número Del surco	Velocidad (m/s)	Número del surco	Velocidad (m/s)
2	0.07	16	0.21
5	0.11	19	0.16
7	0.13	22	0.10
10	0.15	24	0.83
13	0.17	-	-

Los valores obtenidos se corresponden con la velocidad permisible (V_p), la cual se acepta internacionalmente en el rango de 0.10 - 0.25 m/s. Esto confirma que los caudales utilizados para las condiciones referidas son adecuados, exceptuando el surco 24, donde el tamaño del flujo aplicado además de producir velocidades inadmisibles provocó altos volúmenes de suelo movido que pudieron ser medidos en varios puntos de la porción inferior del mismo. Las acumulaciones de suelo oscilaron entre 40 - 65 mm en la parte baja y entre 20 - 45 mm en la parte alta.

4.4.2 Avance del agua en el riego intermitente

Para probar el avance que produce la aplicación del flujo intermitente, se utilizó el criterio de manejo consistente en utilizar tiempos de apertura variables, que permitieron asegurar que en cada ciclo se alcanzaran distancias constantes de cinco metros a lo largo del surco de riego. Estas pruebas se realizaron con intenciones exploratorias para trabajos posteriores encaminados a la definición de los parámetros tecnológicos que permitan la introducción de esta tecnología en el riego del cultivo de la cebolla en Banao.

En la tabla 4.8 se presentan los valores promedios del avance del frente de humedecimiento en el riego intermitente o por impulsos correspondientes a trece

pruebas de riego realizadas con un caudal de diseño de 0,316 L/s, estimado a partir de una carga hidráulica de 3.5 cm sobre la cresta del vertedor.

Tabla 4.8 Avance promedio del agua en el riego intermitente

Estación	Tiempo de Avance (s)					
	3 Impulsos			2 Impulsos		1 Impulso
Distancia (m)	T1	T2	T3	T1	T2	T1
00	00	00	00	00	00	00
05	19.6	15.6	15.0	19.8	18.8	21.5
10	41.0	38.3	37.5	46.5	44.1	52.7
15		60.5	58.5	71.9	74.2	94.4
20		93.1	88.5		110.4	130.0
25			126.0		139.1	175.0
30			158.7		183.5	214.1

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

En la tabla anterior se observa que al reducir el número de intermitencias se incrementa el tiempo para que el flujo de agua alcance la porción final del surco. En el presente estudio se obtiene que con la utilización de tres intermitencias con tiempos variables de 41.0, 93.10 y 158.70 segundos, respectivamente es posible reducir en 1.35 veces el tiempo final de avance respecto al riego con flujo continuo. En los anexos del 4.1 al 4.13 se representan de forma tabulada los registros del avance de agua con la aplicación de flujo intermitente a partir del criterio de tiempo de ciclo variable.

4.5 Determinación de los parámetros de infiltración

4.5.1 Infiltración en el riego continuo a partir del avance del agua

La estimación de la lámina infiltrada a lo largo del surco en condiciones de riego continuo se realizó a partir de la ecuación de Kostiakov – Lewis, la cual puede escribirse como:

$$Z = k.t^a + f_o.t \quad 4.5$$

Donde Z es la lámina infiltrada (m); f_o la velocidad de infiltración estabilizada ($m^3/min./m$).

K y a parámetros de ajustes.

En la tabla 4.9 se exponen los resultados de los parámetros de la función de infiltración de Kostiakov – Lewis, los cuales están relacionados con la magnitud del caudal

suministrado en el surco. A partir de estos valores es posible estimar el patrón de humedecimiento subsuperficial del surco, teniéndose en cuenta la magnitud del tiempo de oportunidad de infiltración.

Tabla 4.9 Parámetros de infiltración de la función de Kostiakov - Lewis

q_0 (L/s)	q_s (L/s)	f_o	a	k
0.215	0.014	0,00006030	0,4562	0,000049
0.286	0.038	0,00007360	0,0206	0,000074
1.790	0.592	0,00035740	0,5816	0,000040

La comparación entre los métodos de Kachinski (tabla 4.4) y el de Kostiakov – Lewis empleados en la determinación de la velocidad de infiltración estabilizada, muestra que en las condiciones de caudales pequeños y pendientes relativamente altas, ambos producen resultados numéricamente similares. Excluyéndose los valores correspondientes al caudal de 1.79 L/s que resultó inapropiado por las causas explicadas anteriormente, se alcanzaron valores promedios de 0.000060 y 0.000067 respectivamente; pudiéndose sugerir la utilización de los resultados estimados por el método de Kachinski en el cálculo de este importante parámetro de diseño y manejo del riego superficial.

4.5.2 Infiltración en el riego intermitente a partir del avance del agua

En estas condiciones de manejo, los parámetros de infiltración se determinan tomándose como punto de partida la función de Kostiakov – Lewis; sólo que la velocidad de infiltración estabilizada y los coeficientes de ajustes se calculan según el procedimiento expuesto por García *et al.*, (1996b). En este caso se introduce una modificación a esta metodología bajo el supuesto que las funciones de Kostiakov – Lewis y Philip son equivalentes (Brown, 2000). De esta forma la prueba de avance para el riego

intermitente se realizó midiéndose los datos de avance del agua sobre la superficie del suelo previamente humedecido con las intermitencias precedentes.

El cálculo de la infiltración se realiza a partir de la siguiente formula:

$$Z = S_1' t^{0.5} + A' t \quad 4.6$$

Donde S_1' y A' son parámetros de ajuste determinados sobre el suelo humedecido.

$$S_1' = \frac{Q_0 t_L - 3A_0 L}{0.7854 t_L^{0.5} L} \quad 4.7$$

$$A' = \frac{3A_0}{t_L} \quad 4.8$$

Los valores del coeficiente y el exponente de la función de infiltración de Philip se presentan en la tabla 4.10 para los tres caudales seleccionados. Estos resultados son los que deben considerarse en la definición de las variables de diseño y manejo del riego por surcos con flujo intermitente, bajo estas condiciones de suelo y pendiente.

Tabla 4.10 Parámetros de infiltración de la función de Philip

q_0 (L/s)	S_1'	A'
0.215	0,4562	0,000049
0.286	0,0206	0,000074
1.790	0,5816	0,000040

4.5 Control de la humedad posterior al riego

Posterior a las pruebas de avance, en las dos modalidades de riego evaluadas se tomaron nueve muestras de humedad en tres los cuartos superior e inferior de los surcos en tres profundidades (0 – 10; 20 – 30 y 50 - 60), para comprobar el espesor de humedecimiento en el perfil longitudinal (**tabla 4.11**).

Tabla 4.11 Profundidad de humedecimiento en el surco.

Tipo de riego	Profundidad de humedecimiento (cm)			
	Inicio	Final	Diferencia	Promedio
Continuo	26	14	12	21
Intermitente	16	14	2	15

Los resultados de la medición de la profundidad de humedecimiento al inicio y final del surco en los dos criterios de entrega del agua, fue de dos centímetros en el riego intermitente y de 12 cm en el riego continuo. Si se tiene en cuenta que el sistema radical promedio del cultivo de la cebolla es superficial, se puede deducir que con el riego continuo se humedece casi el doble de la profundidad requerida, entregándose al suelo un exceso de agua que no es aprovechada por las plantas. Este comportamiento se corresponde con lo verificado por García (1996); Brown (2000); Camacho, (2006); Alcaide (2006) al definir como ventajas del riego por impulso el ahorro de tiempo, el ahorro de agua y la uniformidad del humedecimiento subsuperficial a lo largo del área unitaria de riego.

5. PARÁMETROS DE DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL RIEGO

Reyes y Pujol (2005) y Rosenfield *et al.*, (2005), afirman que buenas evaluaciones y diseños del riego por superficie conducen al uso eficiente del agua. Estos investigadores han logrado ahorros del 50% del recurso hídrico aplicado a diferentes cultivos y argumentan la implementación confiable del riego intermitente a través de los ensayos de campo que han realizado.

Meneses y Gotay (2005) acuden a modelos de optimización multiobjetivos en el diseño del riego por gravedad en la solución del problema de la uniformidad de distribución del agua a través del surco durante la conducción y la infiltración.

Este capítulo se dedica a demostrar las herramientas de diseño para el riego continuo e intermitente y describe el dispositivo construido y evaluado para garantizar la intermitencia del caudal de agua suministrada.

5.1. Diseño de la parcela de riego

La determinación de los parámetros de diseño y evaluación del riego por surcos en la cebolla se realizó a partir de los resultados experimentales obtenidos en pruebas de campo bajo las condiciones en que se desarrolla la producción de este cultivo en la localidad de Banao en la provincia de Sancti Spíritus, los cuales han sido analizados en los capítulos anteriores.

Los valores de las principales variables estudiadas fueron:

Caudal de diseño, $q_o = 0.316$ L/s.

Pendiente longitudinal del surco, $S_o = 0.012$ m/m

Longitud del surco, $L = 30$ m.

Densidad del suelo, $\rho = 1,59$ g/cm³.

Tiempo de avance en el final del surco, $T_L = 120$ segundos.

Tiempo de corte del caudal, $T_{co} = 240$ segundos. Permite mejorar el patrón de humedecimiento en la porción final de los surcos.

Lámina infiltrada en la porción superior del surco, $Z_i = 3.10$ cm. Obtenida por el método gravimétrico.

Lámina infiltrada en la porción inferior del surco, $Z_f = 3.05$ cm. Obtenida por el método gravimétrico.

Espaciamiento entre surcos, $w = 0.35$ m. Es la recomendada en esta especie.

Lámina de riego, $L_r = 2.80$ cm. Según las características hidrofísicas del suelo estudiado.

Como resultado del proceso de diseño se obtuvieron los valores siguientes:

Uniformidad de distribución, $UD = 98.36$ %: mediante la fórmula de Christiansen.

Uniformidad de distribución en el cuarto inferior, $UD_{Lq} = 79.02$. Mediante la fórmula de Christiansen.

Pérdidas por escurrimiento en el extremo final del surco, $PW = 13.28 \%$. A partir de la siguiente expresión:

$$P_w = 100 - \frac{Lr}{Z_m} - \frac{V_i - Lr.L}{V_a} \quad 5.1$$

Donde V_i es el volumen de agua infiltrado; V_a el volumen de agua aplicado y Z_m la lámina media de agua infiltrada.

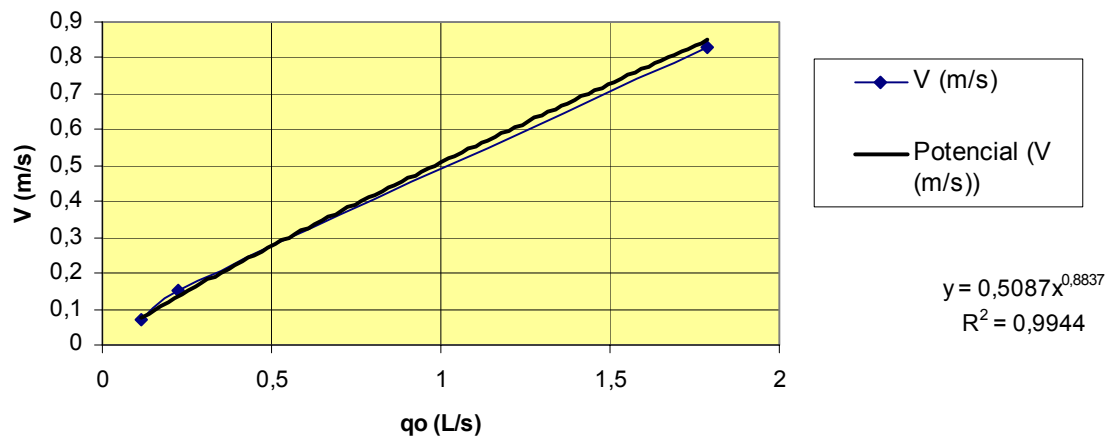
5.2 Desarrollo de herramientas gráficas para el diseño

Las variables de diseño y manejo obtenidas por vía experimental y analítica se combinaron convenientemente a partir de la utilización de procedimientos gráficos y estadísticos, permitiendo el desarrollo de una herramienta para la determinación rápida de los parámetros principales del riego en el cultivo de la cebolla en la localidad premontañosa de Banao. En este caso se utiliza el método estadístico matemático de ajuste de curvas mediante regresión potencial y polinomial. Para la elaboración de gráficos se empleó el software profesional Microsoft Excel versión 7.0

La figura 5.1 muestra la relación del caudal de diseño con la velocidad de circulación del agua en el surco. Como se aprecia la dependencia entre estas dos variables se expresa a través de la siguiente función potencial:

$$q_o = 0,5087V^{0,8837} \quad 5.2$$

El coeficiente de determinación resultó ser elevado con valor $R^2 = 0,9944$



Figur

a 5.1 Relación entre el caudal de diseño y la velocidad del flujo de agua.

Cuando no se disponen de los instrumentos apropiado para medir el caudal puede constituir una alternativa práctica la medición de la velocidad de avance del agua en el surco, la cual puede determinarse mediante procedimientos que frecuentemente están disponibles para la comunidad de productores de cebolla, siendo el más común el empleo de flotadores.

En la figura 5.2 se representa la relación entre estas variables, respondiendo a la siguiente relación potencial:

$$V = 2,127q_0^{1,125}$$

5.3

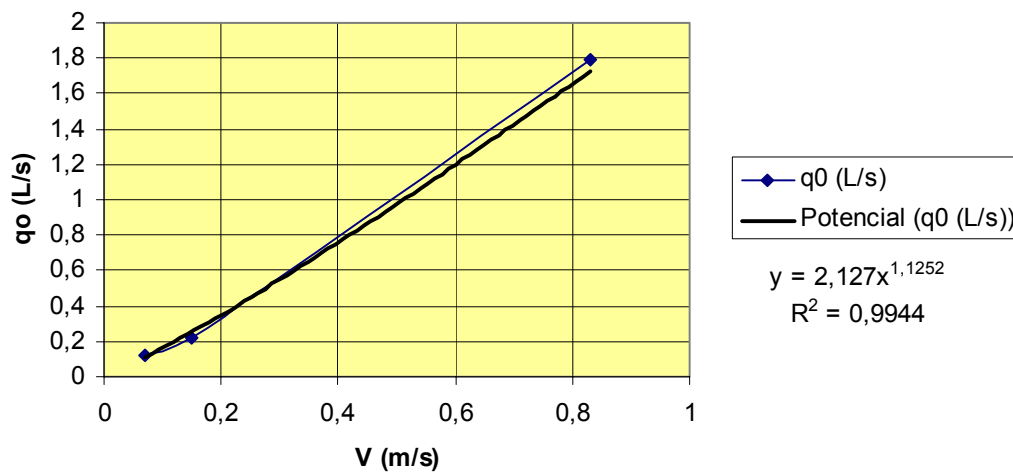


Figura 5.2 Relación entre la velocidad del flujo de agua y el caudal de diseño.

El conocimiento del caudal que se aplica en el surco o de la velocidad promedio del flujo permite definir con seguridad el valor de la velocidad de infiltración estabilizada. En las figuras 5.3 y 5.4 aparecen reflejadas las relaciones funcionales entre estas variables que responden satisfactoriamente a una función potencial con alto coeficiente de determinación

$$f_o = 0,0002q_o^{0,6766} \quad 5.4$$

$$R^2 = 0,9836.$$

$$V = 0,0004f_o^{0,754} \quad 5.5$$

$$R^2 = 0,9593$$

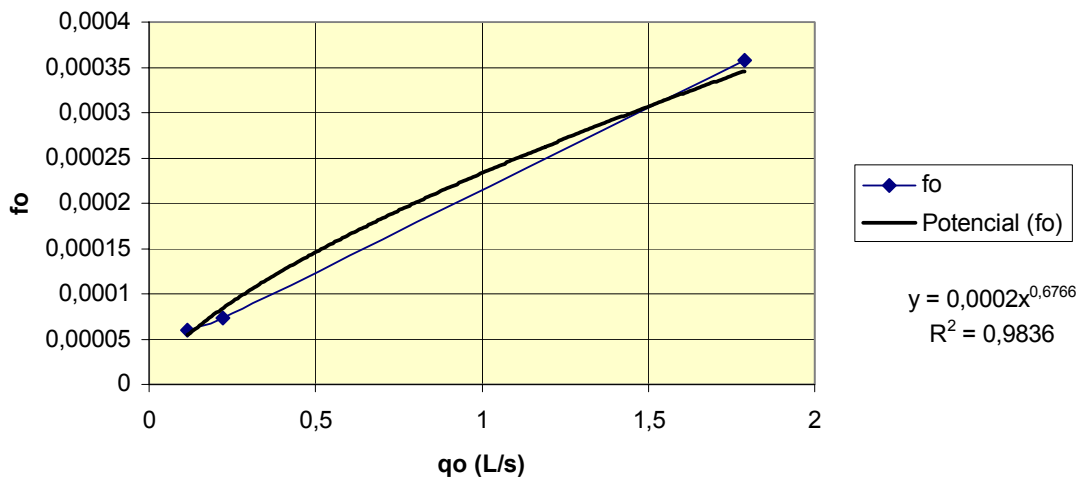


Figura 5.3 Relación entre el caudal de diseño y la velocidad de infiltración estabilizada.

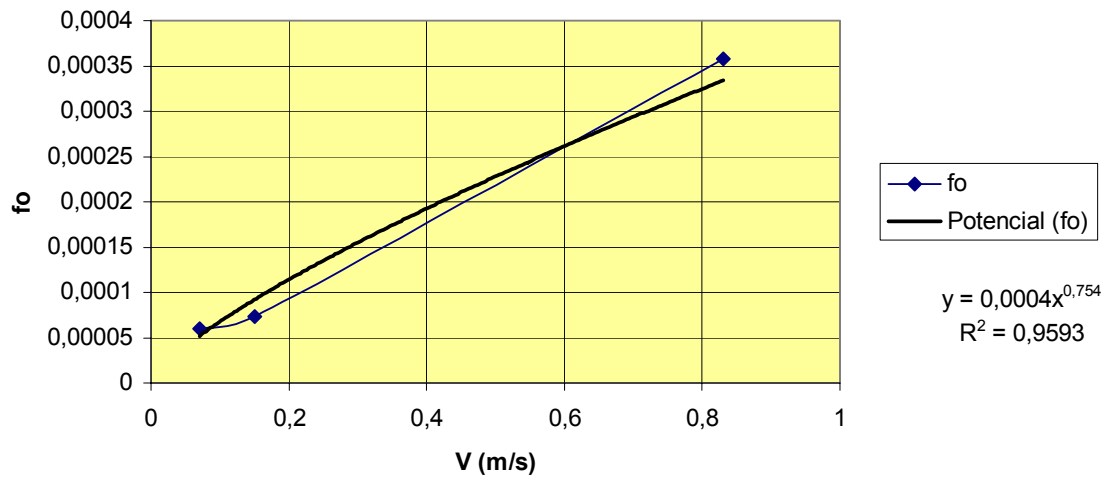


Figura 5.4 Relación entre la velocidad del flujo y la velocidad de infiltración estabilizada.

La estimación de la calidad del riego se puede realizar en función del caudal de diseño el cual se relaciona matemáticamente con las láminas infiltradas en ambos extremos del surco y la uniformidad de distribución a través de ecuaciones potenciales con aceptables coeficientes de determinación (figuras 5.5, 5.6 y 5.7).

$$Z_i = 1,2225q_o^{-0,637} \quad 5.6$$

$$R^2 = 0,9367$$

$$Z_f = 1,0709q_o^{-0,696} \quad 5.7$$

$$R^2 = 0,9545$$

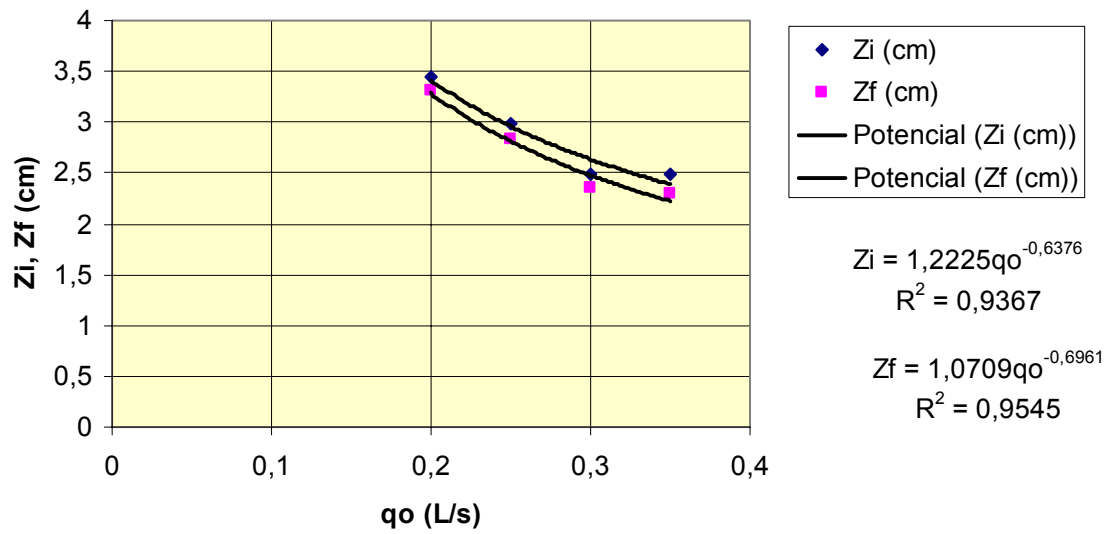
$$UD = 94,747q_o^{-0,0218} \quad 5.8$$

$$R^2 = 0,7891$$

La relación entre el caudal suministrado al surco y la eficiencia de aplicación se establece a través de una función polinomial de segundo grado.

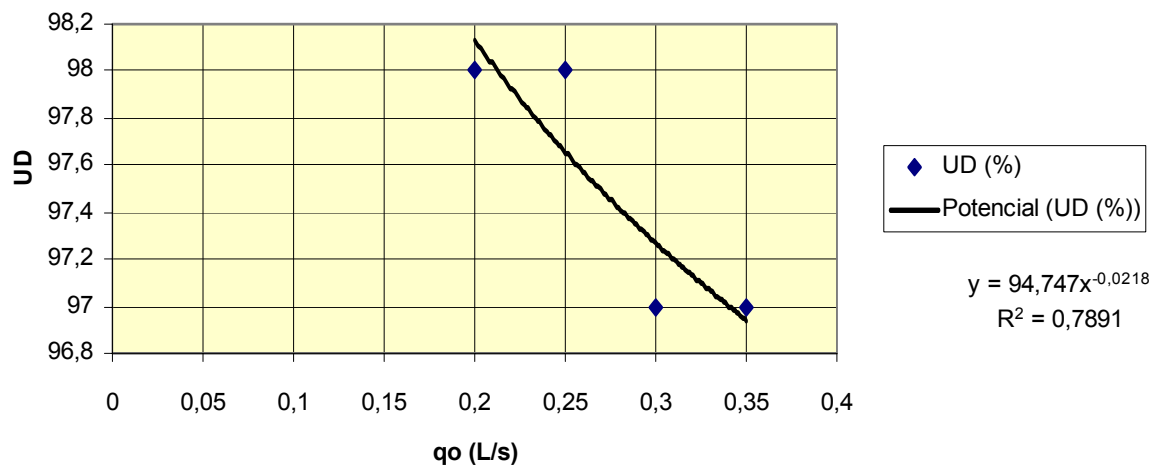
$$EA = 900q_o^2 - 505q_o + 162,7 \quad 5.9$$

$$R^2 = 0.9451$$



Figur

a 5.5 Relación entre el caudal y las láminas infiltradas.



Fi

gura 5.5 Relación entre el caudal y la uniformidad de distribución.

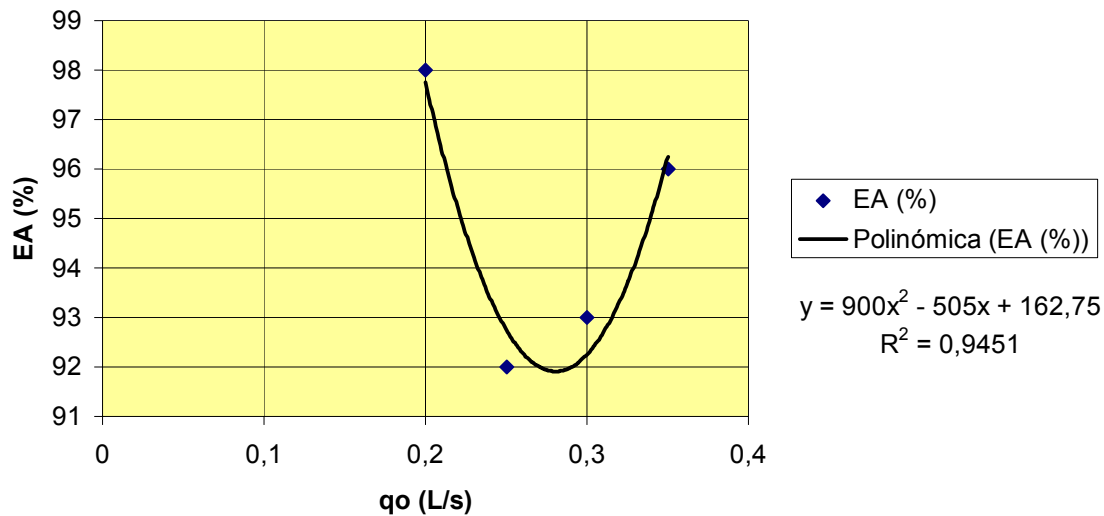


Figura 5.5 Relación entre el caudal y la eficiencia de aplicación.

5.3 Dispositivo para el riego intermitente en el cultivo de cebolla

Se construyó y evaluó un tanque de descarga por el fondo (TDF) para la implementación del riego intermitente en el cultivo de la cebolla. El dispositivo se compone de tres partes fundamentales:

1. Tanque de almacenamiento.
2. Dispositivo de abertura y cierre.
3. Tubería con orificios.

Para la construcción del TDF se utilizaron materiales de desecho o fácil adquisición como el tanque de almacenamiento, consistente en un depósito de 210 litros al cual se le realizó una perforación cilíndrica en el fondo para garantizar la salida del agua y el mecanismo de abertura y cierre formado por un sistema de válvula de baño sanitario. Este provoca la abertura y el cierre automático por el principio de flotación accionado por un flotador de poli espuma (figura 5.7 c) cuando se alcanza el tirante máximo.

Para el estudio hidrodinámico del dispositivo se procedió a ponerlo en funcionamiento y realizarle las mediciones siguientes:

- Tiempo de llenado (min).
- Tiempo de vaciado (min).
- Tiempo total de un ciclo (min).
- Volumen de trabajo (L).
- Volumen muerto (L).
- Caudal de entrada: Se utilizaron cuatro caudales diferentes correspondientes a 0.71, 0.55, 0.45 y 0.30 L/s.
- Caudal de salida (L/s)

5.3.1 Descripción de los componentes del TDF

5.3.1 .1 Tanque de almacenamiento

Como tanque de almacenamiento se utilizó un depósito en desuso destinado inicialmente al traslado y almacenamiento de agroquímicos en el Complejo Agropecuario

Industrial Sur del Jíbaro. Sus dimensiones fundamentales son:

- Capacidad: 210 litros.
- Altura: 1.08 m.
- Diámetro: 0.560 m.

El estado del recipiente no debe permitir fugas de líquido. Al mismo se le eliminó la tapa superior fija y se le practicó un orificio de 50 mm en el fondo donde se colocó la válvula

de salida de agua (figura 5.6). En la parte superior de la pared se perforó otro orificio de 25 mm para la ubicación de la tubería de alimentación.



Figura 5.6 Vista general del TDF

5.3.1.2 Tubería para aforo

En la parte superior e inferior de la pared del tanque, siguiendo la misma línea vertical, se practicaron dos orificios de 10 mm y en los mismos se soldaron dos niples de igual diámetro, que permitieron la colocación exterior de una tubería plástica transparente que facilita la observación de los volúmenes de agua en el interior del depósito, estableciendo una escala en la pared de este donde se hace la lectura del nivel de agua en el interior del TDF.

5.3.1.3 Tubería interior para la alimentación

Se colocó una tubería plástica de 1.0 m de longitud y 25 mm de diámetro que hace la entrega del caudal en el fondo del tanque para evitar que la caída del chorro obstaculice el funcionamiento del flotador inferior (figura 5. 7a).

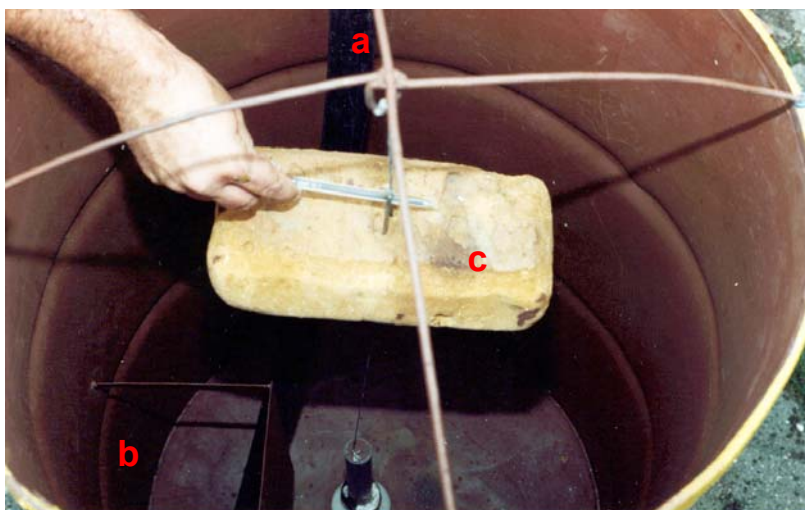


Figura 5.7 Componentes internos del TDF.

5.3.1.4 Pantalla antiturbulencia

Puesto que el caudal entregado en un recipiente relativamente estrecho y de forma cilíndrica, inevitablemente genera una circulación turbulenta de la masa de agua, que no posibilita el cierre adecuado y oportuno de la válvula de salida, fue necesario ubicar una pantalla metálica que rompiera esta cinética. La misma se fijó por medio de soldadura eléctrica a la pared y fondo del tanque, ubicándose verticalmente delante el chorro de entrada, esta lámina tiene un área de 74.10^3 mm^2 (figura 5.7b).

5.3.1.5 Mancera con pivote para el tiro manual

Se construyó con tubos de hierro de 20 mm de diámetro, una manquera en forma de “T” igual a la altura del tanque, con pivote en su parte inferior que facilita el traslado de la tecnología de un lugar a otro a través del tiro manual (figuras 5.8).



Figura 5.8 Mancera de tiro manual

5.3.1.6 Base con patines deslizables

Para la colocación del tanque se construyó una base que consiste en un aro de diámetro ligeramente mayor al del depósito con tres soportes o puntos de apoyo que le dan estabilidad. Estos puntos de apoyo, de 150 mm de altura, descansan sobre sendos patines de lámina metálica de dos milímetros de espesor y área de $22,8 \cdot 10^3 \text{ mm}$ (figura 5.9a).



Figura 5.9 Patines deslizantes e instalación de salida

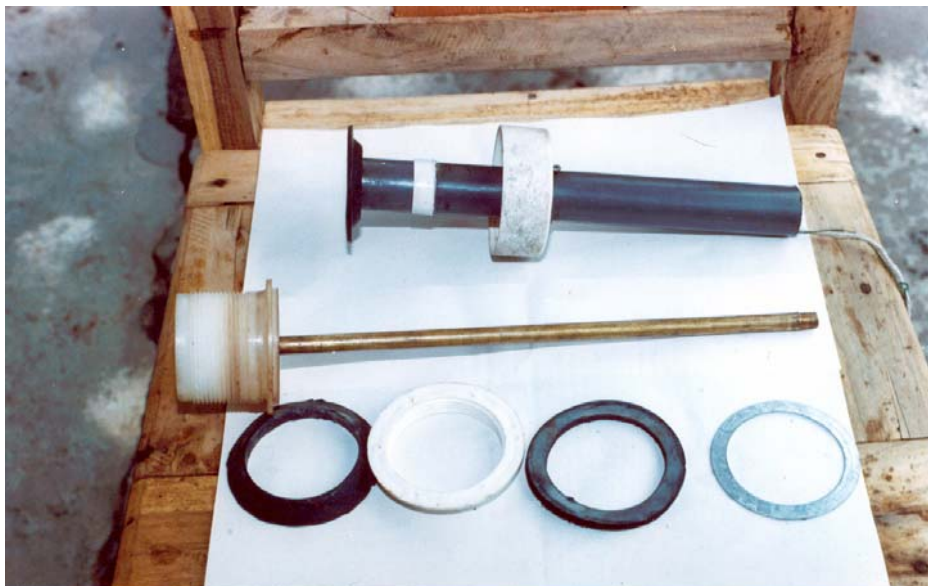
5.3.1.7 Tapa

Para evitar la entrada de cuerpos extraños al interior del depósito o de animales, se construyó una tapa de malla con orificios pequeños que permiten visualizar el trabajo del sistema.

5.3.1.8 Mecanismo de abertura y cierre

La válvula que permite la abertura y cierre para las descargas intermitentes del TDF se concibió a partir de las usadas en los tanques de los inodoros domésticos, la misma tiene 50 mm de diámetro y se compone de las partes siguientes (figura 5.10).

- Base de rosca con tuerca de fijación
- Eje central con tope de limitación de recorrido
- Juntas de goma para sellado entre el tanque y la base
- Tubo plástico con porta junta.



- Junta de cierre
- Flotador de sumersión.

Las cuatro últimas partes relacionadas son móviles y en lo

adelante se denominará al *conjunto flotador inferior*.

Figura 5.10 Partes de la válvula de abertura y cierre.

La innovación tecnológica realizada a la válvula adquirida consistió en eliminar el mecanismo que las mismas traen de fabricación para el cierre de la entrada de agua por presión a través de brazos y flotador, construyéndole una tapa fija que cierra herméticamente el tubo por la parte superior. Esta tapa permite la colocación de una cuerda para el tiro de la válvula. También se le añadió un segundo flotador de sumersión con segmentos de poli espuma de desecho para aumentar la efectividad del flotador inferior (**figura 5.9**).

El flotador superior (figura 5.7c), se construyó con material de poli espuma, al cual se le dio forma rectangular. Sus dimensiones son:

- Ancho: 130 mm.
- Largo: 270 mm.
- Altura: 160 mm.

Este flotador se une a la válvula a través de una cuerda de nylon de 350 mm de longitud. Para evitar que este fricione con las paredes del tanque debido a las ondas generadas por el movimiento del agua y el viento, el mismo se ata por medio de cuerdas a varillas previamente soldadas en la parte superior del depósito.

5.3.2 Cálculo de la estructura soporte del tanque de descarga por el fondo

La estructura soporte (figura 5.11) consiste en un bastidor montado sobre patines deslizantes de material metálico (acero ct-3)

La unión del patín al bastidor se produce a través de un vástago soldado a tope por ambos lados: uno al bastidor (figura 5.11 a) y otro al patín (figura 5.11 b).

La unión con soldadura metálica es muy fuerte y permanente entre dos elementos según Dobrovolski (1975) y los puntos unidos soportan grandes cargas de tracción – compresión. Según este autor la estructura que se construyó soporta literalmente las fuerzas que se aplican durante su explotación, los cálculos que a continuación se muestran para los posibles puntos de fallos (punto *i* en la figura 5.11 a y punto *ii* en la figura 5.11 b), corroboran lo citado anteriormente.

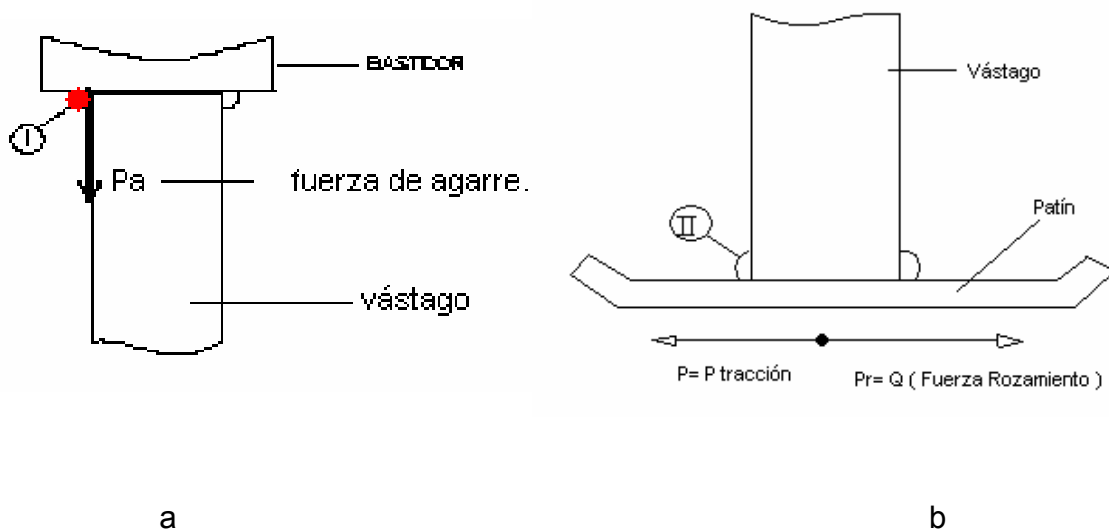


Figura 5.11 Unión del patín al bastidor.

5.3.2.1 Cálculo para el punto I

En este punto de unión la soldadura está sometida a tracción, por lo que debe cumplir la condición de equilibrio

$$[\sigma] = p/l s \leq [\sigma']t \quad 5.9$$

Donde l es la longitud del cordón: $l = 50$ mm (asumido); s la altura del cordón: $s = 3$ mm (altura mínima permisible, según Reshetov, 1975); p la carga que soporta el cordón de soldadura, que depende del peso del dispositivo (g), del coeficiente de rozamiento (f) y del ángulo de aplicación de la fuerza de tracción (α).

$$p = gf. \text{ sen } \alpha \quad 5.10$$

Según las características del agregado y la superficie por donde se desplazará, el coeficiente de rozamiento f , toma valores entre 0.15 y 0.20, atendiendo a lo planteado por Jrovostov (1975). El valor de α para la altura de una persona se puede asumir igual a 45° .

El máximo peso (g) durante el acarreo del tanque, considerando el volumen muerto, es de 50 kgf

Si la tensión admisible a la tracción $[\sigma]t$ es igual a 38 kgf/mm² por referencias de Reshetov (1975), entonces la tensión de cálculo $[\sigma]$ será:

$$[\sigma] = p/l s = g \cdot f \cdot \text{sen } \alpha / l \quad 5.11$$

$$= 50 \times 0.20 \times 0.707 / 50 \times 5 = 7.07 / 25.0 = 0.28 \text{ kgf/mm}^2$$

$$[\sigma] = \underline{0.028 \text{ kgf/mm}^2}$$

Como la tensión límite puede determinarse mediante la expresión propuesta por Reshetov (1975) y Dobrovolski (1975):

$$[\sigma']t, \text{ es } 0.9 [\sigma]t \quad 5.12$$

$$\text{se tiene que: } [\sigma']t = 0.9 \cdot 38 = \underline{34.2 \text{ kgf/mm}^2}$$

Como $[\sigma] < [\sigma']t$ queda demostrado que la soldadura resiste.

5.3.2.2 Cálculo para el punto II

En este punto las fuerzas actúan a cortante, por tanto el cálculo se refiere a esta tensión y se representa como $[\tau]$, tensión al cortante.

$$[\tau] = q / 0.7 k \cdot l \leq [\tau'] \quad 5.13$$

Donde k es la altura del cateto del cordón de soldadura y se asume un valor de cinco milímetros para el cálculo; q la fuerza cortante que, en este caso, es igual a la fuerza de rozamiento por lo que depende de g , f y α .

$$\text{Si } q = g \cdot f \cdot \cos \alpha \quad 5.14$$

Entonces:

$$[\tau] = g \cdot f \cdot \cos \alpha / 0.7 \cdot k \cdot l = 50 \cdot 0.2 \cdot 0.707 / 0.7 \cdot 5 \cdot 50$$

$$[\tau] = \underline{0.04 \text{ kgf} / \text{mm}^2}$$

Para Reshetov (1975) y Dobrovolski (1975) la tensión límite al cortante $[\tau]_c$, es

$$[\tau']_c = 0.6 [\sigma]_t \quad 5.15$$

Luego

$$[\tau]_c = 0.6[\sigma]_t = 0.6 \cdot 38 = \underline{22.8 \text{ kgf} / \text{mm}^2}$$

La relación $[\tau] < [\tau']_c$ demuestra que la soldadura en este punto también resiste

5.3.3 Funcionamiento del dispositivo

El ciclo de funcionamiento del TDF puede ser explicado de la siguiente forma: cuando comienza a entrar el agua al depósito, la válvula de salida está cerrada por lo que el volumen de agua se va acumulando. En la medida que el tirante sube se acerca al flotador superior, una vez que se pone en contacto con este la fuerza hidráulica lo eleva sobre la superficie. Esta fuerza es transmitida a través de la cuerda que une al flotador con la válvula de salida. Al descompensarse las fuerzas; es decir, cuando la fuerza de flotación se hace mayor que la fuerza de presión y el peso del mecanismo, la válvula de salida se abre y mantiene esta condición debido a la flotación de los elementos adjuntos

a ella (flotador interior). Como el gasto de salida es superior al gasto de entrada en un momento dado se produce el vaciado del tanque. Al finalizar este la succión del agua y el peso libre del mecanismo producen el cerrado de la válvula, completándose así un ciclo de trabajo.

El volumen total de una descarga puede ser suministrado a uno o varios surcos, dependiendo del cultivo, la campificación y otros factores; entonces, el tiempo de vaciado del tanque se convierte prácticamente en el tiempo que demora cada impulso en avanzar por la superficie del surco y el tiempo de llenado en el intervalo que existe entre dos impulsos. Esta condición, para caudales de entrada fijos mantendría también valores fijos, lo contrario ocurriría cada vez que se varíen los caudales de entrada.

Otra forma posible para variar los tiempos de intermitencia es a través de la variación del tirante que provoca la descarga, esto se consigue variando la longitud de la cuerda que une el flotador con la válvula de descarga.

5.3.4 Comportamiento hidrodinámico del TDF

En la tabla 5.1 se muestra el ciclo de trabajo del TDF, en cuatro variantes estudiadas. Los caudales de entrada se variaron a partir de 0.55 L/s que es el caudal promedio que llega a la finca para las condiciones técnicas disponible y carga del sistema. A partir de este se tomó un valor superior de gasto de 0.71 L/s y dos valores inferiores de 0.30 y 0.45 l/s respectivamente. Esto se hizo posible con la abertura y cierre de válvulas en el sistema de tuberías en servicio. La columna que representa los tiempos de llenado registra cuatro valores comprendidos entre 4.14 y 10.00 minutos, con una relación directamente decreciente con el caudal. Según otros investigadores, los tiempos entre impulsos, generalmente no superan los 5.00 minutos. Al ser el tiempo de llenado del tanque igual al tiempo *off*, se deduce que el caudal utilizado de 0.30 L/s, produce un

tiempo entre impulsos superior en dos veces al valor antes indicado, lo que limita la productividad del riego.

Aunque en los cuatro experimentos realizados el dispositivo funcionó, las mejores relaciones entre tiempos *on* y *off*, que tributan a la obtención de mayor productividad comprenden caudales de entrada que oscilen entre 0.50 y 0.80 L/s.

Tabla 5.1 Ciclo de trabajo del TDF

Variante	Gasto de entrada L/s	Tiempo de llenado (min)	Tiempo de vaciado min)	Tiempo total del ciclo (min)
I	0.55	5.27	1.26	6.53
II	0.71	4.14	1.41	6.05
III	0.30	10.00	1.13	11.13
IV	0.45	6.40	1.22	8.02

5.3.5 Valoración económica de la construcción del dispositivo

Los costos en los que pueda incurrir la fabricación de este equipo siempre son muy bajos y pueden ser minimizados con buenos niveles de gestión e inventiva, pero en el más crítico de los casos no superarían los 84.01 pesos cubanos por unidad, desagregados de la forma que se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Costo de los componentes del TDF y la mano de obra.

Recursos	costo total (MN)
- 1 Tanque de 210 litros.	36.50
- 1 Válvula de salida de inodoro doméstico.	16.00
- 15 Electrodo para soldar.	1.51
- Salario de un obrero calificado en tres horas de labor.	30.00
Total	84.01

6. PROTECCION DEL SUELO

El suelo se constituye en el recurso básico de las sociedades. Es un recurso renovable si es conservado adecuadamente, en caso contrario, se generan pérdidas que conducen al empobrecimiento de las comunidades y al deterioro del medio ambiente. El impacto de la erosión se manifiesta en los aspectos sociales, económicos y naturales. La suma de pérdidas económicas debido a la erosión puede alcanzar niveles astronómicos, por lo que es necesario considerar medidas que prevean los procesos asociados a la erosión o disminuyan sus consecuencias negativas.

Entre as múltiples medidas para proteger al suelo de la erosión se encuentran las barreras vivas utilizando especies vegetales diversas. El pasto vetiver ha sido ampliamente difundido por los programas de transferencia de tecnología como una alternativa para el control de la erosión en zonas de ladera de los cinco continentes, es originario del Sureste Asiático. Su principal característica es que posee tupida cantidad de hojas, carece de aristas, es resistente y sin vellosidades, no tiene rizomas ni estolones y se propaga mediante divisiones radiculares.

Cuantificar los procesos movilizados de suelo debe ser una actividad imprescindible en los diseños de sistemas de riego en ecosistemas frágiles de manera que permitan adoptar medidas eficaces para la protección del medio edáfico.

6.1 Movimiento de suelo en el surco

El estudio del movimiento de suelo en el surco y la evaluación de la erosión se desarrollaron en la finca "La Ceja" en el año 1997 en parcelas regadas con flujos continuo e intermitente, utilizando una metodología de campo consistente en la colocación de siete agujas finas, construidas de alambre de cobre, a lo largo del perímetro del surco, en tres estaciones de su longitud, correspondientes a la parte alta,

media y baja (Pacheco, 1996). Las agujas fueron enterradas antes del riego hasta enrasar el suelo con una marca practicada en estas. Una vez finalizado el riego se realizó la medición con una cinta métrica de la magnitud actual entre la superficie del suelo y la señal hecha en cada aguja, cuantificándose los valores de arrastre y sedimentación producidos en el surco. Este procedimiento permitió registrar el cambio ocurrido en la longitud transversal de la sección del surco (perímetro) antes y después del riego para cualquiera de los casos estudiados.

Los cambios ocurridos obedecen a un movimiento pasivo de suelo, entiéndase hinchamiento y acomodo de las partículas, puesto que en la longitud del surco no se evidenciaron excavaciones ni cúmulos de suelo, además el gasto en circulación no contenía volúmenes de suelo suspendido de consideración, a juzgar por la limpidez del fluido en las observaciones realizadas. Esto es el resultado de la elección correcta del caudal para las condiciones dadas.

6.2 Medidas de protección del suelo

Con el objetivo de detener los arrastres de suelo fuera del área, se plantó una barrera viva de vetiver (*Vetiveria zizanooides*, L. (Nash)) según la metodología propuesta por Suárez de Castro (1965) y Febles y Durán (1988), de modo que el área quedó dividida en dos: barrera arriba y barrera abajo (figuras 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4).



Figura 6.1 Área beneficiada con la barrera de vetiver.



Figura 6.2 Porte alcanzado por la barrera de vetiver.



Figura 6.3 Medición de cúmulos de suelo frente a la barrera de vetiver.



Figura 6.4 Movilización de suelo en parcelas no protegidas con la barrera de vetiver

El trazado de la línea para la colocación de la barrera se hizo con nivel y miras topográficas en una pendiente de 1,2 % para posibilitar la circulación de agua. La distancia de la cabecera del campo a la barrera quedó establecida a 35 metros.

La longitud de la línea con barrera es de 30 metros. Sobre esta se estableció el cultivo de Vetiver, extrayéndose cepas de una plantación adulta perteneciente a la propia finca de la parcela experimental. Las cepas se ubicaron (trasplantaron) a distancia de 30 cm. La selección de esta especie se realizó por los criterios de Shepaschenko (1984) y Febles (1988), pues la misma es de crecimiento denso, sistema radical profuso, resistente al fuego y no invasora.

Las plantas de la barrera recibieron dos riegos para evitar la deshidratación irreversible de la cepa. Un año después se evaluó la efectividad de la barrera a partir de la determinación de la cantidad de suelo acumulado en peso (toneladas). Se adoptó que el volumen de cúmulos toma forma de triángulo rectángulo, visto desde su sección transversal, donde la altura del suelo acumulado, medido en la línea de la barrera representaría la base del triángulo que formaría un ángulo recto con el lado visible (superficie del suelo acumulado) y el lado no visible es por tanto la hipotenusa considerada. Es fácil entender que tanto la altura como la base pueden ser medidas directamente en el triángulo que se forma, tal como se hizo y con estos valores se determinó el área, aplicando:

$$a = \frac{1}{2} b.h \quad 6.1$$

Donde a es el área del triángulo (m^2); b la base del triángulo (m) y h la altura del del triángulo (m).

El valor del área del triángulo fue multiplicado por la longitud que alcanza la barrera para obtener la magnitud en volumen, o sea.

$$V = a.L \quad 6.2$$

Donde V es el volumen de suelo acumulado (m^3) y L la longitud de la barrera (m) Para convertir este volumen en peso relativo de suelo (P_s) se multiplicó por la densidad del suelo (ρ):

$$P_s = \rho \cdot V \quad 6.3$$

Con el propósito de buscar valores medios confiables de b y de h se fijaron diez puntos a lo largo de la barrera (estaquillados) y se realizaron tres mediciones en cada uno por tres distintos observadores, por lo que cada valor será el promedio obtenido de treinta observaciones.

Puesto que el área tributaria a la barrera es de 30 m por 35 m, o sea 0,10 ha se procedió a plantear el resultado en área unitaria tomando como referencia una hectárea y a partir de aquí se realizan las inferencias requeridas.

La figura 6.5 representa el área de la parcela experimental y la ubicación de la barrera viva establecida en la misma para retener los arrastres de suelo.

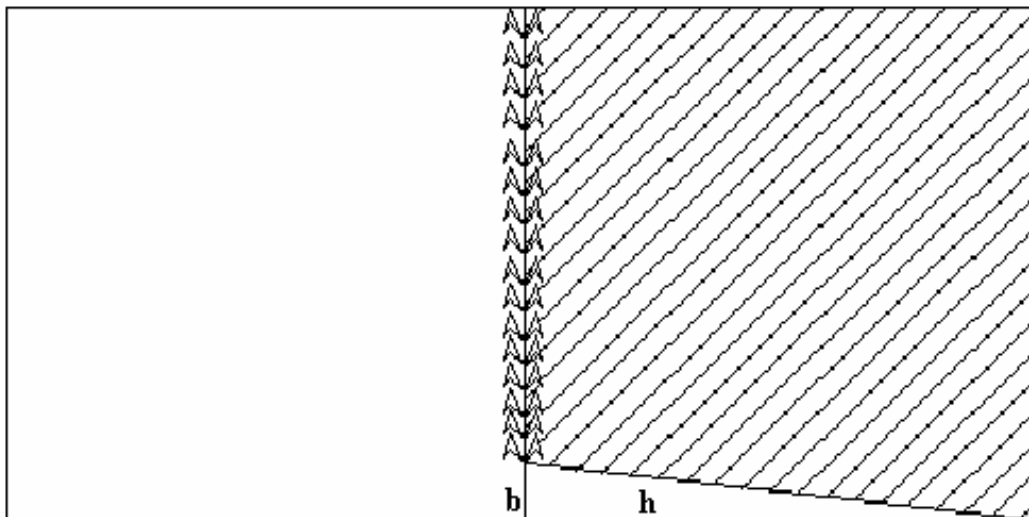


Figura 6.5 Representación esquemática del área con barrera viva.

El área sombreada en la sección transversal corresponde al suelo acumulado, que para su mejor cuantificación se adoptó el promedio de los valores correspondientes a la figura

de un triángulo rectángulo de base, b y altura, h . Las magnitudes obtenidas fueron las siguientes:

$$b = 0,0065 \text{ m}$$

$$h = 0,744 \text{ m}$$

$$a = 0,02418 \text{ m}^2$$

$$V = 0,7254 \text{ m}^3.$$

$$P_s = 1,15 \text{ t}$$

Teniéndose en cuenta que el área que tributa a la barrera de vetiver es de 0,10 ha, el valor estimado es el correspondiente a 11,5 t/ha/año, lo que corresponde a un espesor de suelo de 0,7 mm distribuidos uniformemente en la parcela o en el área unitaria a que se refiera. Esto significaría haber interceptado 2 323 t de suelo que se perderían por la erosión de las aguas, si se hubiese adoptado la medida en las 202 ha que domina la micropresa Cangalito y 4 630 t de suelo que no se perderían en las 402.6 ha de cebolla que como promedio se siembran anualmente en la zona en condiciones muy similares de topografía, suelo y clima.

Este valor de 0,7 mm de espesor de suelo que se ha movido permite apreciar que el volumen trasladado no representa un proceso vertiginoso de erosión y que el dimensionamiento del área y la disposición de la barrera son adecuados para este propósito, téngase en cuenta que Shepashenko *et al*, (1984), informa pérdidas de hasta de 73.8 t/ha/año.

En consideración a que los parámetros de riego utilizados en la parcelas fueron los adecuados a partir de los estudios realizados, se infiere que el mayor volumen de suelo movilizado se debe a las lluvias ocurridas durante el periodo evaluado. En la tabla 6.1 se refleja el comportamiento de las precipitaciones mensuales y su comparación con el valor medio de una serie con 35 años de observaciones. Las anomalías pluviométricas

calculadas demuestran que excepto en marzo, se produjeron excesos de precipitaciones a lo largo de todo el año en magnitudes que oscila entre 10 y 22 mm/mes; alcanzando valores totales de 38.3 y 203,7 mm en el ciclo del cultivo y en el año. Estos valores son relativamente altos y representan un potencial erosivo; especialmente a partir de marzo y abril que se produce la cosecha y el suelo queda desnudo.

Tabla 6.1 Comportamiento de las precipitaciones.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	Ciclo	Anual
Precipitación mensual (mm)	56,0	57,00	32,5	100	245,5	1937,3
Precipitación media hiperanual (mm)	36,0	47,0	46,8	77,4	207,2	1733,6
Anomalías pluviométricas (mm)	20,0	10,00	-14,32	22,6	38,3	203,7

Tratándose que el proceso de erosión del suelo es un fenómeno multifactorial permite reflexionar sobre los siguientes aspectos relacionados con la efectividad de esta medida de protección que se ha adoptado.

1. La barrera de vetiver en el primer año de plantada no es lo totalmente efectiva, pues no se logra la compacidad de la cepa, por eso debe tenerse en cuenta que en la medida de su desarrollo surtirá mejores efectos.
2. Los resultados positivos que se vayan logrando en el tiempo, acelerarán la comprensión sobre la necesidad de que todas las ciencias relacionadas con el suelo tengan en cuenta su protección, aspecto que no debe obviar ningún diseño de sistemas de riego y drenaje. Para el cultivo de la cebolla en condiciones de premontañas.
3. El área colocada en la parte inferior de la barrera, donde no fueron cuantificados los resultados, también ha sido beneficiada pues la barrera disminuye la velocidad y descompacta las corrientes de agua que pasan por ella procedentes del área barrera arriba, como consecuencia, el efecto erosivo en la primera se reduce perceptiblemente.

La formación de un espesor de un centímetro de suelo puede demorar cientos y miles de años en dependencia de las condiciones locales (Febles y Durán, 1988); sin embargo, el hecho de haberse retenido contra la barrera un volumen de suelo correspondiente a un espesor de 0,7 mm es sin lugar a dudas un gran resultado.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES.

1. Se determinaron afectaciones ambientales relacionadas con el clima, suelo, agua y cultivo en la comunidad agrícola de Banao, portadora de una arraigada cultura al cultivo de las aliáceas; pero incapacitada para intervenir en correspondencia con la situación actual de los antropizados ecosistemas de cebolla.
2. Se definieron los valores actuales de las propiedades hidrofísicas del suelo pardo grisáceo predominante en el cultivo de estas especies, comprobándose los efectos de la degradación de este medio sobre la densidad del suelo y la capacidad de campo, las cuales se evalúan de alta y ligeramente baja, respectivamente. Estos valores difieren notablemente de los que recomienda el departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes de la Provincia de Sancti Spiritus.
3. Las modificaciones introducidas al método directo de campo para la determinación de la densidad del suelo y al método de Kashinki para el cálculo de la infiltración del agua en el suelo fueron validados por expertos en el tema; permitiendo mayor facilidad en la determinación de estas características.
4. Se comprueba que el riego intermitente es superior al riego con flujo continuo en la localidad estudiada al proporcionar reducción del volumen de agua aplicado, tiempo y mejoramiento ostensible del patrón de humedecimiento del surco.
5. Se proponen herramientas gráficas que permiten al productor estimar de manera rápida los parámetros de diseño, manejo y evaluación del riego continuo: caudal, velocidad del flujo y uniformidad de distribución.
6. Se diseña y construye un Tanque de Descarga por el Fondo (TDF) para riego intermitente a partir del diseñado por García (1994) demostrándose su funcionalidad y posibilidad de construcción con los medios y recursos locales de cualquier territorio de la provincia y el país.

7. La actividad de manejo del agua en terrenos ondulados destinados al cultivo de la cebolla debe estar estrechamente ligada a medidas de protección del suelo. La experiencia utilizando barreras vivas de Vetiver en ecosistemas frágiles de premontaña en la localidad de Banao, permitió evitar movilizaciones de suelo fuera del área en una magnitud anual de once toneladas por hectárea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulrahman, S (2001): *Estudios agroproductivos y técnico económicos del cultivo del trigo con la utilización de riego por surcos*. Tesis de maestría. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.
- Abreu, O. (1998): *Evaluación del riego por surcos en condiciones de flujo continuo e intermitente*. Tesis de maestría en Ingeniería de Riego y Drenaje. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.
- Ahmed, B. (2002): *Diseño Hidráulico de un Sistema de Riego Entubado con compuertas a Pequeña Escala en la Empresa de Cítricos Ceballos*. Tesis profesional de Ingeniero agrónomo. Centro de Información Científico Técnico. Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.
- Aidarov, I. P. et al. (1984): *El Riego*. Editora MIR. Moscú.**
- Alcaide, M (2005): *Riegos por superficie*. Curso predoctoral. 14 de noviembre de 2005. Centro de Estudios Hidrotecnicos. Universidad de Ciego de Ávila.
- Alonso, N. (2006): Comunicación personal con el autor. Ph.D. Profesor de riego y drenaje Centro Universitario “José Antonio Echeverría”, CUJAE. Asesor de la dirección nacional del Ministerio de Educación Superior de Cuba.
- Arahí, M. y Santana, M. (2000): Caracterización socio-productiva de los sistemas cebolleros de Banao. Tesis en opción al título de Ingeniera agrónoma. Centro universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”.
- Ascanio, O. et al. (1983): *Antecedentes históricos de la erosión como fenómeno de empobrecimiento de suelos cubanos*.
- Ayuso, J. L. (2005): *Diseños hidráulicos*. Curso predoctoral. 17 de noviembre de 2005. Centro de Estudios Hidrotecnicos. Universidad de Ciego de Ávila.
- Bennett, H. y R. V. Allisson (1962): *Los suelos de Cuba*. La Habana.
- Berlijin, I. D, et al. (1984): *Suelos y Agua*. Editorial Trillas. México.**
- Booher, L. J. (1976): *El Riego Superficial*. F.A.O. Roma.**
- Brown, O. (2000): *Curso de Postgrado sobre Riego Superficial*. Centro Universitario de Sancti Spíritus, “José Martí Pérez” del 15 al 19 de septiembre.**
- _____ (2003): *Aplicación de métodos numéricos al diseño del riego por surcos***

en suelos ferralíticos. **Memorias del Congreso Internacional de Riego y Drenaje Cubariego 2003**. Palacio de las conversiones, Ciudad de la Habana, Cuba.

_____ (2006): **Modelos matemáticos para la modelación de riego superficial**. Material preparado para informe doctoral. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila.

Cairo, P. y O. Fundora (1995): Edafología. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.

Camacho, E. (2005): *Tendencias actuales en el riego*. Curso predoctoral. 10 de noviembre de 2005. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila.

Camejo; E. (2006): Preparación de la asignatura. *Relación Agua-Suelo-Planta-Clima*. Curso de Maestría en Riego y Drenaje, Centro de Estudios hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila.

Cancio R. *et al*, (1981): *Suelos de la provincia de Sancti Spíritus*. Editorial Orbe. La Habana.

Castelón, Rosalía *et al* (2006): Erosión de suelos en ecosistemas frágiles de montañas. UAEM. Facultad de Ingeniería. *Revista Ideas*. No. 27. Febrero/2006. Toluca. México.

Cid, G. (1988): Aspectos generales sobre la infiltración del agua en los suelos. Centro de Información y Documentación Agropecuaria. La Habana.

Cid, G. *et al*, (2005): Aspectos a considerar en las soluciones de riego en condiciones de un desarrollo sustentable. Segundo Congreso Internacional de riego "Cubarriego 2005". Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.

CITMA (2003): Estudio climatológico de Banao. Contrato de trabajo para el ecosistema Banao Centro Meteorológico Sancti Spíritus, 10 pp.

Couso, P, (1987): *La erosión de los suelos*. Centro Nacional de Suelos y Fertilizantes, MINAG. La Habana.

Cruz, Juana *et al*. (1996): Proyecto de Desarrollo de la cebolla en Banao, ENPA. Sancti Spíritus.

Derogues, E. *et al*. (1990): Instructivo para la proyección de sistemas de riego y drenaje superficiales. IIRD. La Habana.

Doorembos, J y A. H. Kassan (1986): Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Informe FAO. Riego y Drenaje 33, Roma.

- Doorembos, T y O. Pruit. (1990): *Las necesidades de agua de los cultivos*. MINAG. La Habana.
- Dueñas, R. y Col. (1981): *El Riego*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
- Durán, J. L; *et al.* (1983): *Estudio comparativo de la erosión en la zona Jibacoa-Canasí*. Instituto de Suelo. La Habana.
- Espineira, P. Especialista del Departamento Provincial de suelos Sancti Spiritus. Consulta personal. 2/9/2006.
- FAO (a). (1980): *Informes Estadísticos de la producción mundial*. Informe FAO., Roma.
- FAO (b). *Metodología provisional para la evaluación de degradación de suelos*. Informe FAO. Roma, 66 pp
- FAO. (1967): *La erosión del suelo por el agua, algunas medidas para combatirlas en las tierras de cultivos*. Cuaderno de fomento agropecuario No. 81. Roma, 207 pp.
- Febles, J. M. y J. L. Durán (1988): *Manual de erosión y conservación de suelos*. MES. ISCAH. La Habana.
- Fuentes, P. (2005): Utilización de coberturas muertas en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*. L.). *Memorias y Programas de Doctorado en gestión ambiental y desarrollo sostenible*. IMA. Universidad de Girona. España, 80 pp.
- García, N. H. (1994): *Modelación matemática del riego por superficie*. Tesis Doctoral. UNAM, México.
- _____ (1996): *Curso Internacional de Riego por Gravedad*, UNICA. Ciego de Ávila.
- García, R. J.; E. Dehogues. *Estudio de la infiltración de algunos suelos de Cuba*. Material mimeografiado distribuido por la ENPA. La Habana.
- García, R. J.; E. Dehogues y L. K. Tzenova (1969): *El Riego*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
- González, P.A, *et al*, (2005): **La eficiencia Institucional: Factor de gran peso en la eficiencia global de los sistemas de riego y drenaje. Segundo Congreso Internacional de riego “Cubarriego 2005”**. Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.
- Guenkov, G. (1969): *Fundamento de Horticultura cubana*. Editora Revolucionaria. La Habana.
- Gueorguier, Ñ y J. A. Salgado (1987): *Ingeniería Civil*, No.2. La Habana.
- Gutiérrez, A. (2005): El manejo del agua de riego en la costa del Perú precolombino. Segundo Congreso Internacional de riego “Cubarriego 2005”.

- Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.**
- Guzmán, R; et al. (1983): *Riego y Saneamiento agrícola*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.**
- Hernández, I (2006): *Reordenamiento de las tecnologías de riego y drenaje para el manejo eficiente del agua en el territorio cañero del valle de Guantánamo*. Tesis en preparación para optar por el grado de científico de doctor en Ingeniería Agrícola. Centro Universitario de Guantánamo.
- Herrera, J. et al. (2005): *Uso eficiente del agua y la nutrición en un sistema de cultivo en la zona de Velasco, Holguín. Estudio de caso. Segundo Congreso Internacional de riego “Cubarriego 2005”*. Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.**
- Huerres, C. y N. Carballo (1991): *Horticultura*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.**
- Hume, W.G et al. (1971): *Producción comercial de cebollas y guisantes*. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España.**
- Israelsen, D. W y V. E Hansen (1970): *Principios y aplicaciones del riego*. Editora Revolucionaria. La Habana.**
- Iznaga; A. I. (2003): *Informe sobre la producción de cebolla en la Granja Urbana de Banao, Sancti Spíritus*.**
- Jiménez B (2000): *Atención a Banao por el Comité Municipal del PCC*. Información ofrecida el 20 de Junio 2000 a los estudiantes de la Unidad Docente de Banao, Sancti Spíritus.**
- Kaúrichev, I.S y Col. (1984): *Prácticas de Edafología*. Editorial MIR. Moscú, 2 pp**
- Kirilova, Iliana y C. Pavón (1986): *Hidromelioraciones de Riego*. Ministerio de Educación Superior. La Habana.**
- Lorenzo, E. (2006): *Obtención de semilla botánica de cebolla multiplicadora (Allium cepa, variedad aggregatum, Donn)*. Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía. Universidad de Ciego de Ávila.
- Losada Vilasante, A (2005): *El riego II. Fundamentos de su hidrología y de su práctica*. Universidad Politécnica de Madrid. Ediciones Mundi – Prensa. ISBN: 84-8476-232-7. pp 221

- Mass, M. (1998): *Erosión de suelo en México, en destrucción del hábitat*, PUMA UNAM, México, pp.271-285
- Machev, P. (1981): *Agroeconomía y Desarrollo*, Volumen 1 No.3 Ministerio de la Agricultura. La Habana.**
- Marí, J. A. (2005): *Estudio del cultivo de la cebolla en Banao*. Conferencia al Diplomado de producción de semillas y propágulos. Centro Universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”.**
- Marí, J. A; et al. (1996): *Estudio del cultivo de la cebolla en Banao*. Sede Universitaria Sancti Spíritus. Inédito.**
- _____ (2000): *Estudio del cultivo de la cebolla en Banao*. Conferencia al Diplomado de Agroecología. Departamento Agropecuario. Centro universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”.**
- Matev, T. (1970): *Técnica del riego por surcos*. Ingeniería Hidráulica. Serie 10 No.3. U.H.**
- Matov, M. (1974): *Aplicaciones prácticas del riego*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.**
- _____ (1981): *Aplicaciones prácticas del riego*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.**
- Medrano, C. H. Ayala, P. J. Rodríguez y A. Flores (1975): *Cebolla y ajo*. Serie A. p 39.
- Meléndrez, J.F. *et al* (2003): Comportamiento de tres fungicidas químicos y uno biológico en el control de la rhizoctoniosis en el cultivo de la cebolla en la localidad de Banao. Trabajo de diploma en la Disciplina sanidad vegetal, Unidad docente de Banao.
- Meneses, J y J, Gotay, (2005). Métodos de optimización global para la evaluación de sistemas de riego por gravedad. Segundo Congreso Internacional de riego “Cubarriego 2005”. Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.**
- MINAG. (1983): *Instructivo Técnico del cultivo de la cebolla*. MINAG, La Habana.**
- MINED. (1974): *Riego por surcos*. Dirección Agropecuaria. La Habana.**
- Moreno, Fátima (2005): *Diseño de colectores*. Curso predoctoral. 15 de noviembre de 2005. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila.
- Mujica, A. (1997): *Preparación de la asignatura ingeniería de riego I*. Curso de maestría en riego y drenaje. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila.**

- Muñoz, Laura y A. Prats. (1984): *Investigaciones sobre las variaciones de los rendimientos de la cebolla en Cuba*. Editorial Academia. La Habana.
- Pacheco, J. et al. (1995): *Riego y drenaje*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
- Pacheco, J. (1996): *Metodología para la evaluación del riego por surcos*. Material en elaboración. (Inédito)
- Pacheco, J. y M. Santana (2006): *Evaluación del riego superficial por impulsos en la localidad de Banao*. Material en elaboración. Centro universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”.
- Perdomo A. y G. González. (1979): *Organización y explotación de sistema de riego*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
- Pérez, C. (1989): La erosión de suelos: Causas, efectos y control. Centro de Información y Documentación Agropecuaria. La Habana, p 76.
- Planas, G. (1993): *Pérdidas por erosión hídrica en los suelos de Cuba*. Editorial Científico Técnica. La Habana.
- Reyes, J. y R. Pujol, (2005): **desarrollo del riego intermitente en Cuba. Segundo Congreso Internacional de riego “Cubarriego 2005”. Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.**
- Ríos, T, (2005): *La producción de cebolla en Banao y la erosión de los suelos*. Trabajo en preparación para tesis de maestría. CUSS-UNICA. Ciego de Ávila.
- Roldan, J. (2005): *Tendencias para el riego considerando la competición de otros usos del agua, restricciones ambientales y cambios climáticos*. Curso predoctoral. 14 de noviembre de 2005. Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila.
- _____ (2005): *Técnicas de aforo en sistemas hidráulicos*. INRH. La Habana.
- Ronda, R. (1997): *Preparación de la asignatura de hortalizas*. Departamento Agropecuario Centro Universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”.
- _____ (2003): **Maestrías en Ciencias Agrícolas. Curso de Post-grado. Fitotecnia de las hortalizas Seminario de cebolla. Centro Universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”.**
- _____ (2005): *Producción de semillas de cebolla en condiciones de Cuba*. Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía. Universidad de Ciego de Ávila.
- Rosenfeld, B. y H. Díaz, (2005): **Avances en productividad sostenible mediante**

riego pulsante : El Sistema de Riego ecológico Autónomo (SREA). Segundo Congreso Internacional de riego “Cubarriego 2005”. Del 24 al 28 de octubre; Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.

Sánchez, M; *et, al.* (2004): *Tecnología alternativa para el riego de huertos familiares*. Tesis profesional presentada en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Centro de estudios Hidrotécnicos. Centro de Información Científico Técnico, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.

Santana, M. (1993): *Resumen del Primer Taller Nacional de Alliaceae*. Documento de archivo de la relatoría y los pronunciamientos. Departamento Agropecuario, Sede Universitaria. Sancti Spíritus.

Santana M. y Mirtha Cáceres (1995): *Evaluación del riego tradicional de la cebolla en Banao*. Trabajo de Estancia en la asignatura Riego y Drenaje. Unidad docente Banao, Sede Universitaria, Sancti Spíritus.

Santana M. E. Castellón y H. Moreno (1995): *Determinación de los coeficientes a y b de la ecuación de infiltración para un suelo pardo grisáceo destinado al cultivo de la cebolla en la E.C.V. Banao*. Trabajo presentado en TERYDAC “95.” UNICA. Ciego de Ávila.

Santana M. (1998): *Determinación de parámetros tecnológicos en el Riego por surcos en el cultivo de la cebolla en Banao*. Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias. UNICA. Ciego de Ávila.

Santana M. y J. A. Rodríguez (1997): *Evaluación del efecto de barreras vivas de Vetiver asociadas al manejo de agua asociadas al cultivo de la cebolla*. Trabajo de Estancia en la asignatura Riego y Drenaje. Unidad Docente Banao, Sede Universitaria, Sancti Spíritus.

Santana M. y R. Rojas (1996): *El manejo del agua en el cultivo de la cebolla asociada a medidas de conservación de suelo*. Trabajo de Estancia en la asignatura de Riego y Drenaje. Unidad Docente Banao, Sede Universitaria, Sancti Spíritus.

Santana, M. (2004): *Diseño de una tecnología alternativa para el riego intermitente para el cultivo de la cebolla en condiciones de pre montaña en la localidad de Banao*. Trabajo presentado en el forum de base del Departamento Agropecuario de Centro Universitario de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”.

_____ (2006): *Evaluación integral de la producción de cebolla en la localidad de*

- Banao. Inédito. Departamento Agropecuario de Centro Universitario de Sancti Spíritus "José Martí Pérez".**
- Santana, M. y E Rodríguez (1998): *Evaluación preliminar de la profundidad de suelo a humedecer en el cultivo de la cebolla en Banao.* Trabajo de Estancia en la asignatura Riego y Drenaje. Unidad Docente de Banao, Sede Universitaria, Sancti Spíritus.**
- Santana, M. et al (2003): *Evaluación de la modalidad de Riego intermitente para el cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L).* En: Rodríguez, M y Yanelys Domínguez. Trabajo presentado en opción a sendos títulos de Ingeniero Agrónomo. Centro Universitario de Sancti Spíritus "José Martí Pérez".**
- Santana, M. (2006): Estudios de suelo para el mejoramiento del riego por surcos en Banao. Séptima Conferencia Científica Internacional UNICA 2006. Ciego de Ávila, Cuba.**
- Shepashenko G. y et al. (1984): *La erosión hídrica y los métodos para combatirla en los países en vías de desarrollo con clima tropical y subtropical.* Instituto de Suelos. La Habana.**
- Smerdon E. T. y A. W Blair. (1988): Infiltration from Irrigation advance data (II; Experimental) *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* V. 114, No.1.**
- _____ et al. (1988): Infiltration from Irrigation advance data (I: theory) *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* V. 114, No.1.**
- Suárez de Castro, F. (1965): *Conservación de suelos.* Edición Revolucionaria. La Habana.**
- Thorne, D.W. y H.B. Peterson (1963): *Técnica del riego.* Editora Revolucionaria. La Habana.**
- Torres, M. A, et al. (1999): *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca tributaria del embalse del Proyecto Porce II , Santa Fe de Bogotá.* Consultoría Colombiana S.A. Empresas publicas de Medellín (www.concol.com), 10 pp.**
- Veliz Guerra, L. (2003): *Consideraciones a cerca del estado de conservación de la cubierta vegetal de la Finca "La Ceja" Banao.* Tesis en opción al título de Ing. Agrónomo. Centro Universitario de Sancti Spíritus "José Martí Pérez".**
- Vermeiren, L. y G.A. Jobling (1986): *Riego y Drenaje.* Informe FAO, No.36. Roma.**
- Viera, R.A. (2006): Caracterización socio-productiva del modelo de agricultura existente en el sistema cebollero Banao. Tesis en opción al título de Ingeniero**

**Agrónomo. Unidad Docente de Banao. Centro universitario de Sancti Spíritus
“José Martí Pérez”.**

**Walker, W.R. (1979): *Lines for designing and evaluating surface irrigation systems.*
Utah State University.**

[Sin autor], (1991): El riego por pulsos. Facultad Agraria de la Universidad de Nuevo Leon (F.A.U.A.N.L). *Revista Avances de Investigación*. México.

7.2. Recomendaciones.

1. Los valores para los diferentes parámetros de diseño y las herramientas que se presentan en esta investigación conviene ser utilizados en los proyectos de riego de la cebolla en la localidad y áreas con condiciones similares, permitiendo con ellos mayor rapidez, seguridad y mejores resultados productivos.
2. Debe continuarse el estudio sobre el riego intermitente con el objetivo generalizar esta tecnología en la localidad y crear una fábrica a pequeña escala del tanque de descarga por el fondo, haciendo un estudio comparativo con el riego por surcos tradicional desde la pre-siembra hasta la cosecha en los cultivos más representativos de Banao.
3. En todo el ecosistema frágil de premontaña de la localidad deben aplicarse medidas de protección de suelos con barreras vivas de vetiver asociadas al manejo del agua en el cultivo de la cebolla.
4. Establecer Sistemas de Asesoramiento al Regante (SAR) con énfasis en el manejo de riego por surcos como parte de un programa de acciones integradas para alcanzar la sostenibilidad de los ecosistemas de cebolla en Banao.

