



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**FACULTAD DE CONSTRUCCIONES**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**TÍTULO:** Influencia de las simplificaciones en el diseño agronómico de sistemas de riego por goteo.

**AUTOR:** Darsis Deysi Arévalo Gómez.

**TUTORES:** Dr. C. Pável Vargas Rodríguez.

Ing. Abel Dorta Armaignac.

Ing. Carlos Alexis Tenrero Rodríguez.

Noviembre 2021

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a todas las personas con las que me cruce en este camino que aportaron con sus conocimientos para mi formación personal y académica.

Gracias a:

A mis padres Osvaldo Arévalo y Yanisdalgis Gómez por su paciencia y dedicación durante estos años de continua lucha.

A mis abuelos, en especial a mi abuela Deysi por su apoyo incondicional.

A mis queridos amigos Carmen, Lisbet, Betsy, Frank y Andys, quienes me han apoyado y soportado en esta etapa tan significativa.

A mi tutor **Dr. C. Pável Vargas** quien es una fuente de motivación y confianza. Gracias por aportar tus conocimientos.

Al Departamento de Ingeniería Hidráulica por todo lo que me aportó cada uno de los profesores, por las sugerencias y correcciones sin las cuales no habría sido posible mi formación como Ingeniero Hidráulico.

A la Revolución Cubana, por permitirme cursar estudios universitarios y convertirme en una profesional.

..... gracias a todos.

## RESUMEN

Durante el diseño agronómico de sistemas de riego localizado es difícil garantizar humedecer un volumen de raíces que permita la extracción de agua y nutrientes por parte de las plantas, así como su anclaje en el suelo. Esta situación conlleva a extremar la precisión en esta etapa, esencialmente, en la estimación de los coeficientes de cultivo ( $K_C$ ), de localización del riego ( $K_L$ ) y de variabilidad Climática ( $K_{VC}$ ), así como de las necesidades de lavado ( $LR$ ). Cuando la estimación de éstos no se realiza de manera rigurosa, los resultados pueden afectar la eficacia del riego y la rentabilidad de la instalación. Identificar la influencia de las simplificaciones realizadas durante el diseño agronómico de sistemas de riego localizado por microaspersión, en la precisión de los parámetros de explotación de la instalación. Se utilizó el procedimiento de diseño propuesto por Keller y Rodrigo, y se empleó el método hipotético – deductivo, para evaluar la influencia de las simplificaciones en los parámetros de explotación de la instalación. Se obtuvieron argumentos a partir de la comparación entre dos variantes que permiten establecer la influencia de las simplificaciones en el rigor de los resultados del diseño agronómico de sistemas de riego localizado. El diseño agronómico riguroso de sistemas de riego localizado conlleva a establecer instalaciones eficaces y capaces de funcionar en condiciones más desfavorables.

**Palabras claves:** Diseño agronómico, microaspersión, evapotranspiración, duración del riego, dosis de riego.

## ABSTRAC

During the agronomic design of trickle irrigation systems, it is difficult to guarantee the wet volume of roots zone that allows the extraction of water and nutrients by the plants as well as their anchorage in the soil. This situation leads to extreme precision in this stage, essentially, in the estimation of crop coefficients ( $K_C$ ), irrigation location coefficient ( $K_L$ ) and climatic variability coefficient ( $K_{VC}$ ), as well as the leaching needs parameter ( $LR$ ). When the estimation of these is not carried out rigorously, the results can affect the irrigation efficiency and the profitability of the installation. Identify the influence of the simplifications made during the agronomic design of trickle irrigation systems by microslinkler, in the precision in the operation parameters of the installation. The design procedure proposed by (Keller and Rodrigo, 1979) was used; the hypothetical-deductive method was used to evaluate the influence of the simplifications on the operating parameters of the installation. Arguments were obtained from the comparison between two variants that allow establishing the influence of the simplifications in the rigor of the results in the agronomic design of trickle irrigation systems. The rigorous agronomic design of trickle irrigation systems leads to the establishment efficient installations capable of operating under unfavourable conditions.

**Keywords:** evapotranspiration, agronomic design, micro-sprinkling, irrigation timing, irrigation dose.

| <b>ÍNDICE</b>   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| <b>Introducción.....</b>  | <b>1</b>      |
| <b>Capítulo I.- Revisión Bibliográfica.....</b>                                 | <b>6</b>      |
| I.1.- Generalidades de los sistemas de Riego Localizado de alta frecuencia..... | 7             |
| I.1.1.- Breve reseña histórica.....   | 7             |
| I.1.2.- Definición.....   | 7             |
| I.1.3.- Clasificación del método de riego localizado.....                       | 9             |
| I.1.4.- Componentes.....  | 11            |
| I.1.5.- Principales características. Ventajas e inconvenientes.....             | 13            |
| I.2.- Criterios de selección de técnicas de riego localizado.....               | 14            |
| I.3.- Fundamentos teóricos del diseño agronómico.....                           | 16            |
| I.3.1.- Necesidades de agua en los sistemas de riego por goteo.....             | 17            |
| I.3.1.1.- Estimación de la evapotranspiración de diseño.....                    | 20            |
| I.3.1.2.- Probabilidad de diseño de la evapotranspiración.....                  | 21            |
| I.3.2.- Estimación de las necesidades netas.....                                | 22            |
| I.3.3.- Cálculo de las necesidades totales.....                                 | 31            |
| I.4.- Conclusiones parciales.....   | 33            |
| <b>Capítulo II.- Materiales y Métodos.....</b>                                  | <b>34</b>     |
| II.1.- Caracterización del caso de estudio.....                                 | 35            |
| II.2.- Enfoque de cálculo. Variantes de diseño.....                             | 35            |
| II.2.1.- Fuente de abasto.....  | 37            |
| II.2.2.- Datos del Suelo.....   | 37            |
| II.2.3.- Características del cultivo a beneficiar.....                          | 37            |
| II.2.4.- Datos climáticos.....  | 38            |
| II.2.5.- Agregados de riego.....  | 38            |

|  |    |
|--|----|
| II.3.- Datos básicos para el diseño.....               | 38 |
| II.3.1.- Procedimientos para el diseño agronómico..... | 39 |
| II.3.2.-Resultados.....                                | 44 |
| II.3.3.- Análisis.....                                 | 44 |
| Conclusiones finales y Recomendaciones.....            | 48 |
| Referencias Bibliográficas                             |    |

## **Introducción**

El agua es un recurso finito actualmente en un proceso de disminución acelerada, se estima que su contribución en la agricultura a nivel mundial es mayor del 50%, por lo que utilización eficiente y racional se considera esencial e indispensable para la obtención de alimentos. A esto se unen los usos referentes al consumo humano, la industria y otros, los cuales convierten el agua en un bien escaso. Por ese motivo su utilización en la agricultura de regadíos debe ser controlada y las acciones orientadas a la optimización del uso y la apropiada gestión del recurso.

De acuerdo con (Vargas *et al.*, 2021), en las condiciones meteorológicas actuales, caracterizadas por la alternancia de fenómenos naturales adversos como consecuencia directa del Cambio Climático, son significativas las afectaciones en las producciones agrícolas de la mayoría de los escenarios de uso. Unido a esto, varios aspectos relacionados con el diseño de los sistemas de riego y que conllevan afectaciones en el manejo posterior de estas instalaciones, ponen en riesgo la rentabilidad en los rendimientos de las plantaciones.

Un análisis sobre el consumo de agua para todos los usos en Cuba, muestra que del volumen de agua planificado para todo el país, las actividades agrícolas consumen más del 60% cada año y de este volumen, se destina aproximadamente el 40% para el riego del cultivo del arroz, beneficiado con técnicas de riego por superficie. De acuerdo con Dorticos (2012), los sistemas de riego superficial clasifican como los de más baja eficiencia en el uso del agua, con valores medios inferiores al 60%; Esta situación justifica la utilización de técnicas de riego más eficientes, que propicien mayores rendimientos de los cultivos y contribuyan a mitigar los efectos que sobre los recursos hidráulicos y edáficos, ejerce el cambio climático.

Desde hace varios años se han estado introduciendo en las Empresas Agropecuarias cubanas, tecnologías de riego de avanzada para el beneficio de cultivos agrícolas de gran aceptación popular, en el caso de los sistemas de riego localizado, las técnicas de riego de mayor aplicación han sido las de Goteo y en menor medida las de Microaspersión, (Vargas *et al.*, 2018).

En este contexto, el presente trabajo de Diploma surge como una modesta contribución que aborda las implicaciones que tiene el diseño agronómico simplificado de los sistemas de riego por goteo. Aspectos como el desconocimiento de los resultados de las pruebas de campo como paso previo al diseño, la limitada precisión en la calidad y contenido de la información básica necesaria y el limitado alcance y contenido de las memorias descriptivas de los Proyectos de riego y drenaje, la incorrecta estimación de coeficientes válidos para esta técnica de riego, afectan la eficiencia en el uso del agua de riego en las instalaciones y conllevan a la afectación de los recursos hídricos en el territorio.

En el diseño agronómico de sistemas de riego localizado es necesario, humedecer un volumen de raíces que garantice la extracción de agua y nutrientes por parte de las plantas así como su anclaje en el suelo. Esta pretensión es difícil de alcanzar en la etapa de diseño, por razones que incluyen la disponibilidad y la calidad de la información básica, así como la imposibilidad práctica de utilizar software profesionales que propicien la obtención de soluciones rápidas y precisas.

Lo anteriormente referido conlleva a extremar el rigor en la estimación de la demanda hídrica del cultivo y en particular de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), de localización del riego ( $K_L$ ) y de variabilidad Climática ( $K_{vc}$ ). Partiendo del procedimiento de diseño propuesto por Keller y Rodrigo para el dimensionamiento de sistemas de riego por goteo, aplicado a un caso de estudio real, se identifica la influencia de las simplificaciones que se realizan durante el diseño agronómico de la instalación,

La clave para el diseño eficaz de un sistema de riego consiste en establecer de la forma más precisa posible, las prestaciones que posteriormente se exigirán de la instalación, así como el conocimiento de los parámetros implicados en las restricciones de diseño, como pueden ser, los referidos al complejo agua-suelo-planta-clima, la topografía de la parcela, las características de los agregados de riego y otros (Rodrigo *et al.*, 1997)

En este contexto, se están importando una cantidad considerable de sistemas de riego por goteo con los emisores "ya" insertados, para ser introducidos en Empresas Agropecuarias bajo determinados criterios de selección. Por ello, es



necesario aportar elementos que conlleven a un diseño más racional de estos sistemas, justificado además en el hecho de que los procedimientos de diseño utilizados actualmente no tienen en cuenta la forma y dimensiones del bulbo húmedo que generan estos dispositivos de emisión, así como tampoco la profundidad del mismo o la posición que este ocupa con relación a la zona de ramificación densa de las plantas, y a la que se obtiene el resultado esperado en la producción; tampoco consideran la tensión a la que es retenida la humedad en la zona húmeda que generan los emisores, (Vargas *et al.*, 2020).

Estos elementos, son parte del análisis del complejo agua-suelo-planta-clima, y no tenerlos en cuenta durante el diseño, seguramente conlleva a que la aplicación del agua de riego no se realice de manera adecuada, ya sea por exceso o por falta del preciado líquido, ya que todos los suelos no retienen con la misma energía los contenidos de humedad, ni todas las plantas tienen la misma resistencia a la sequía, (Rodrigo 1997).

Ante esta situación, la presente interrogante identifica el **Problema de la Investigación**: ¿Cómo repercute la utilización de aproximaciones durante el diseño agronómico de sistemas de riego por goteo en la precisión de los parámetros que contribuyen al uso racional del agua de riego en las plantaciones agrícolas? Para abordar la solución de este problema, se identifica como **Objeto de la Investigación**: Los fundamentos teóricos del diseño de los sistemas de riego localizado de alta frecuencia.

**Campo de Acción de la Investigación**: Aborda las aproximaciones introducidas en el procedimiento de diseño para simplificar los cálculos agronómicos de los sistemas de riego localizado y agilizar la entrega de los Proyectos de las instalaciones.

**Objetivo General**: Describir consecuencias de la aplicación del procedimiento de diseño agronómico simplificado de sistemas de riego por goteo, para el uso de parámetros de explotación adecuados en la explotación de estos sistemas de riego.

**Objetivos Específicos** a lograr en diferentes momentos de la investigación:

1. Caracterizar los aspectos fundamentales que inciden en el diseño agronómico de sistemas de riego por goteo, con énfasis en el fundamento teórico y en las simplificaciones introducidas en el procedimiento de diseño.
2. Identificar la información básica necesaria para aplicar los procedimientos de diseño agronómico a dos variantes diferentes, aplicando y sin aplicar aproximaciones durante los cálculos.
3. Comparar los resultados y especificar su influencia en la calidad de los parámetros de explotación y en el esquema hidráulico de los sistemas de riego localizado.

### **Hipótesis de la Investigación.**

Si se caracterizan las consecuencias que implica el uso incorrecto de aproximaciones en el procedimiento de diseño agronómico de sistemas de riego por goteo, se contribuye a mejorar la concepción del esquema hidráulico de la instalación y la precisión de los parámetros de explotación necesarios para el posterior manejo del sistema de riego.

### **Aportes de la Investigación.**

1. Los resultados obtenidos pueden utilizarse como apoyo a la docencia de pregrado que se imparte en el tercer año de la carrera de Ingeniería Hidráulica, así como en las variantes de posgrado relacionados con los contenidos de Disciplina Riego y Drenaje que imparte el Departamento en la entidades de proyectos de la agricultura en el territorio centro oriental.
2. El análisis de los resultados de la investigación contribuye concretar una de las salidas del PI: "Valorización de la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Laguna Blanca" aporta elementos que identifican causas de la baja eficiencia en el uso del agua de riego que existe en las plantaciones agrícolas del territorio Agricultura.

### **ESTRUCTURA GENERAL DEL TRABAJO DE DIPLOMA:**

En la primera parte del trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Hidráulico se compila información relacionada con la presentación de la tesis. Se incluyen entre otros, la portada de la tesis, un breve resumen con la síntesis del trabajo donde se reflejan los aspectos más relevantes del mismo: el objeto de

trabajo, objetivo fundamental, y los principales resultados alcanzados, haciendo énfasis en la relevancia del trabajo. Seguidamente y a modo de Introducción se considera la fundamentación científica del trabajo con los aspectos de diseño de la investigación que contribuyen a dar solución al problema que se plantea y donde se especifican entre otros los Objetivos a seguir, la Hipótesis a demostrar como solución al Problema de la Investigación y los principales aportes.

La tesis cuenta además con dos capítulos. El capítulo primero se apoya en una búsqueda y revisión bibliográficas orientado al objeto y campo de acción de la investigación, se abordan aspectos relacionados con el fundamento teórico del diseño hidráulico de sistemas de riego localizado, haciendo énfasis en la fundamentación teórica del procedimiento de diseño agronómico utilizado en la práctica del diseño en Cuba.

En el segundo capítulo se caracteriza el caso de estudio y se describe el complejo AGUA – SUELO – PLANTA – CLIMA, así como se especifican las características de los agregados de riego a emplear. Seguidamente se establece el procedimiento de diseño agronómico y se aplican a un caso real. Finalmente se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

La parte final del Informe contiene las conclusiones del trabajo, referidas a los objetivos propuestos como solución al problema planteado, y se proponen recomendaciones. Al final de la tesis se resumen las principales referencias bibliográficas.

Los contenidos de este Informe de tesis complementan los referentes iniciales de una serie de publicaciones a desarrollar por profesores del Departamento que abordan la eficacia de los procedimientos de diseño de sistemas de riego localizado y contribuyen a la concreción del segundo resultado del Proyecto de Investigación: PS113LH001 032 Evaluación de la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Laguna Blanca, como parte del Programa Sectorial de Ciencia, Tecnología e Innovación titulado: Gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos, que responde a perfeccionar el modelo de gestión de los recursos hídricos desde la ciencia, la tecnología y la innovación para satisfacer las necesidades impostergables de la sociedad cubana

# **CAPÍTULO I**

## **REVISIÓN**

## **BIBLIOGRÁFICA**

## **I.1.- Generalidades de los sistemas de Riego Localizado de alta frecuencia.**

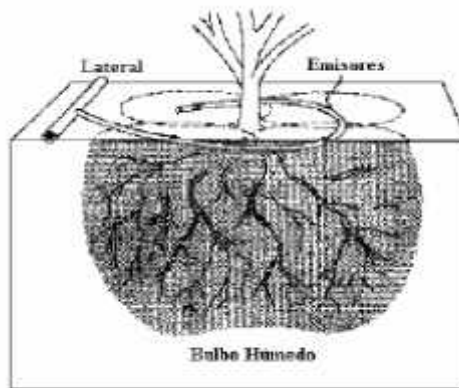
### **I.1.1.- Breve reseña histórica.**

El riego por goteo como se conoce hoy en día comenzó en Inglaterra después de la segunda guerra mundial en invernaderos, semilleros y jardinería, utilizándose microtubos como emisores, sin embargo, fue en Israel en la década de los sesenta cuando se inicia su expansión, tras el perfeccionamiento de las técnicas de extrusión e inyección de los plásticos, el agua pasaba por conductos más grandes y largos, para evitar los bloqueos constantes que se producían con los sistemas de pequeños agujeros, (Elizondo1991).

La rápida generalización del Riego Localizado en el mundo se debe a sus grandes ventajas comparada con otras técnicas como son el ahorro de agua y de conservar la aireación del suelo y la factibilidad de aplicación en terrenos no nivelados y de topografía irregular. Sin embargo es una realidad que la elección de estos sistemas solo se justifica económicamente cuando se aplican a cultivos de alta rentabilidad debido a su alto costo, (Jiménez 2017).

### **I.1.2.- Definición.**

De acuerdo con (Rodrigo 1997), el riego por goteo consiste en aplicar agua al suelo a muy bajos caudales, a través de un sistema de tuberías plásticas de pequeños diámetros en los cuales están fijados los emisores, estos llevan el agua muy cerca de las plantas de forma que solo se humedezca una porción del suelo en la cual se desarrollan la mayoría de las raíces, con esto se pretende que estas obtengan de ese pequeño volumen aplicado el agua y los nutrientes que necesitan para su desarrollo. Según (Mujica 1990), citado por (Veliz 2007), es compatible con la conservación del agua y la protección del medio ambiente, dos objetivos primordiales del siglo XXI, durante el riego se aplica agua filtrada y productos químicos al suelo a través de la red de tuberías y emisores.



**Figura 1.-** Se humedece la parte del suelo donde crecen las raíces. Pizarro (1996).

Este efecto de localización se manifiesta en modificar la evaporación y la transpiración, en la distribución de las raíces en un régimen especial de sales, lo cual obliga a que el riego se aplique con alta frecuencia. Como el volumen de suelo mojado es reducido y la capacidad de almacenamiento del suelo es baja, se deben aplicar dosis de riego reducidas, resultando como única alternativa regar con alta frecuencia para satisfacer las necesidades fisiológicas de los cultivos.

En este método de riego su función principal es la de ser soporte físico de las plantas así como proporcionar el agua y los nutrientes pero en un volumen reducido, el agua aplicada por cada emisor moja un volumen de suelo que se denomina bulbo húmedo. Es muy conveniente que la aplicación del agua y los fertilizantes al suelo, se realice en cantidades pequeñas y con alta frecuencia, es decir, el número de riegos en una campaña es elevado y en cada uno de ellos se aporta una cantidad de agua reducida. Ello permite que el agua esté permanentemente en el suelo en unas óptimas condiciones para ser extraída por la planta.

También (Rodrigo 1997) plantea que el riego localizado denominado microirrigación es la aplicación de agua al suelo en una zona más o menos restringida del volumen radicular se caracteriza por: No moja en general la totalidad del suelo aplicando en agua bajo o sobre la superficie. Utiliza pequeños caudales a bajas presiones. Aplica el agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión que en algunos casos puede

ser alto. Al reducir el volumen de suelo mojado y por tanto su capacidad de almacenamiento de agua se opera con la frecuencia necesaria para mantener un alto contenido de humedad en el suelo.

En el riego por goteo el suministro de agua permite mantener la humedad en la zona radicular en condiciones de baja tensión. (Keller y Rodrigo1979), considera que el bulbo húmedo que se obtiene, normalmente alcanza su máximo diámetro a una profundidad de 30 cm aproximadamente y su forma está condicionada fuertemente por las propiedades hidrofísicas del suelo, posteriormente (Hernández Abreu 1990), propone que el mismo debe tener como referente la zona de ramificación densa del cultivo, específicamente a una profundidad, entre el 90 y el 120 % de esta.

A los efectos del diseño, lo importante es garantizar un volumen de raíces humedecido que favorezca la extracción de agua y nutrientes por parte de las plantas así como su anclaje en el suelo, pero en la práctica, se ha generalizado el uso de la superficie humedecida por el emisor, que es un parámetro más fácil de obtener y permite estimar de manera aproximada el número de emisores que humedecen una misma planta. En este sentido (Dorta y Vargas, 2017) han desarrollado investigaciones que abordan los óptimos de humedad de la zona húmeda en los sistemas de riego por goteo y cuyos resultados aún no son concluyentes.

### **I.1.3.- Clasificación del método de riego localizado**

Los métodos de riego establecen técnicas para infiltrar el agua al perfil del suelo donde se desarrollan las raíces, hasta un contenido de humedad adecuado para el cultivo. La finalidad es satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, en zonas con déficit. Desde el punto de vista docente se prefiere utilizar la siguiente clasificación.

1. Técnicas que utilizan el suelo para aplicar el agua a las plantas:
  - ) Emisores de goteo.
  - ) Mangueras porosas y Cintas de exudación.
2. Técnicas que utilizan el aire para aplicar el agua a las plantas:
  - ) Microaspersión.



**Figura 2.-** Técnica de riego por goteo. (Pizarro 1996).

Sistema de riego por goteo: Es el sistema de riego localizado más popular, el agua se mueve en el suelo, en dirección vertical y horizontal, formando el bulbo de humedad, la misma circula a presión por la instalación hasta llegar a los goteros, en los que se pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota, son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio, cultivo en invernadero, y en algunos cultivos en línea. Este sistema está basado en la utilización de franjas de humedad que garantizan una buena uniformidad de riego.

Sistemas de riego con mangueras porosa y cintas de exudación: Plantea (Dueñas 1981) Que los emisores son los elementos más importantes de las instalaciones de Riego Localizado de Alta Frecuencia y desde luego, los más delicados; son dispositivos que controlan la salida del agua desde las tuberías laterales con caudales inferiores a 12 L/h, entregan caudales relativamente bajos, pero uniformes y constantes, con pocas variaciones de presión. La dificultad de su diseño constructivo reside en que los emisores deben proporcionar un caudal bajo, con el objeto de que los diámetros de las tuberías, sobre todo laterales y distribuidoras, sean reducidos, las grandes longitudes de estas tuberías conllevan al incremento de su diámetro y encarece de forma importante la instalación.

Sistemas de riego por micro difusión y micro aspersion: El agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor, está indicado tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación. El riego por microaspersion es una variante del riego por aspersion, pero con menos alcance y gotas más pequeñas. Estos son ideales para riegos de bajo volumen en cultivos



hortícolas, fruticultura, flores, invernaderos, viveros, protección contra heladas y riego de jardines.

#### **I.1.4.-Componentes.**

Un sistema de Riego Localizado típico está formado por los siguientes elementos:

- Estación de Bombeo.
- Centro de Control.
- Tuberías y Piezas Especiales.
- Emisores.

**Estación de Bombeo:** Son las que toman el agua de la fuente de abasto y le proporcionan la presión necesaria para que circule a través de todo el sistema de tuberías, garantizando a su vez que los emisores entreguen el caudal deseado. En algunos casos pueden ir acompañadas de un equipo de prefiltrado del agua.

**Centro de Control o Cabezal:** Es el conjunto de aparatos que domina la unidad rotacional, aquí se puede filtrar el agua, tratarla, incorporar fertilizantes, controlar las presiones, medir dosis de riego, etc. En Cuba los más usados presentan filtros de Arena y Malla y en algunos casos se presentan combinados con Hidrociclones, la capacidad de filtrado oscila entre 5 y 20 L/s.

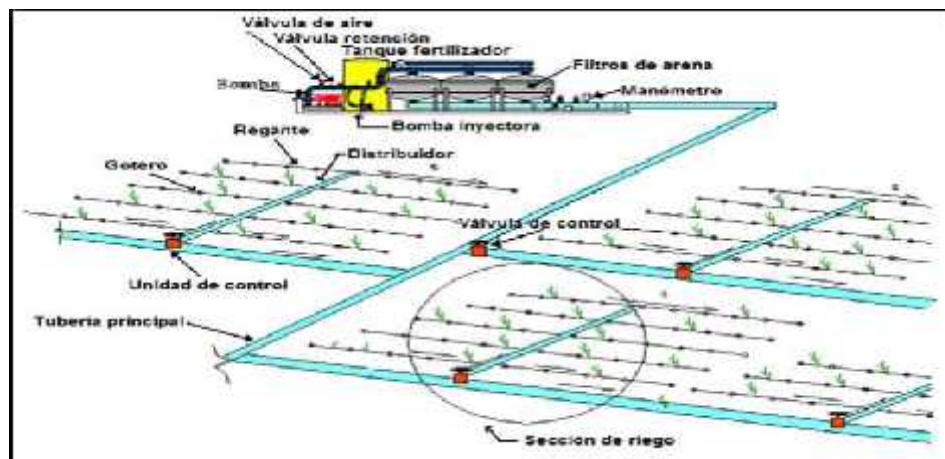
**Tuberías y Piezas Especiales:** Se denominan tuberías a presión o conducción esforzadas a aquellos conductos que funcionan a plena sección y en los que el movimiento del líquido no depende exclusivamente de una pendiente continua como es el caso de los canales, sino que por el contrario, pueden presentarse contrapendientes, lo que hace necesario que el líquido llene completamente toda la conducción y que en el interior de este reine una cierta presión, diferente generalmente de la atmosférica.

- **Tubería:** No es más que la sucesión de tubos, piezas especiales y dispositivos convenientemente unidos de modo que formen un conducto cerrado.
- **Piezas Especiales:** Son unidades que permiten cambios de dirección, empalmes, derivaciones, variaciones de sección, etc. Las tuberías usualmente empleadas para la conducción de agua de los sistemas de riego localizado son las de Policloruro de Vinilo no cristalizado (PVC) y las de Polietileno (PE), el gran desarrollo de estos riegos en los últimos años se debe sobre todo a la aparición de

estos tipos de tuberías. Las tuberías de PVC no se pueden quedar a la intemperie porque la acción de los rayos solares descomponen los polímeros del PVC, estas tuberías están reguladas por las normas UNE 53-112 (I), la cual establece cuatro presiones nominales: 4, 6, 10 y 16 atm para las de PVC y 4,6, y 10 atm para las de Polietileno. Las tuberías de PE se fabrican por extrusión y pueden quedar al descubierto, además son flexibles y menos frágiles, no obstante son más caras que las de PVC ya que debido a su menor esfuerzo tangencial de trabajo, para un mismo diámetro y presión nominales necesita mayor espesor. También los accesorios de las tuberías de PE son más caros.

**Emisores.** Son los elementos más importantes de las instalaciones y los más delicados. La dificultad de un diseño constructivo radica en que estos deben proporcionar un caudal bajo, con el propósito de que las tuberías laterales y distribuidoras se diseñen con diámetros reducidos debido a que es en estas tuberías donde radica fundamentalmente el alto costo de inversión inicial de estos sistemas y un ligero incremento en su diámetro puede incrementar sensiblemente los costos. Por otra parte, la presión de entrega de los emisores no debe ser muy baja para minimizar el efecto que sobre la uniformidad de riego tienen los desniveles del terreno y las pérdidas de carga a lo largo de los laterales y distribuidoras.

Estas condiciones conducen desde el punto de vista hidráulico a emisores en los que el paso del agua sea pequeño, lo cual también está en contradicción con otra condición que deben cumplir los emisores: Su diámetro de paso debe ser lo mayor posible para evitar las obturaciones, que son el principal problema en el manejo de estas instalaciones. Esta dificultad ha sido resuelta por los fabricantes de diferentes formas lo que ha traído como consecuencia una gran variedad de emisores.



### **Figura 3.- Componentes principales de un sistema de riego por goteo**

#### **I.1.5.- Principales características. Ventajas e inconvenientes.**

El riego localizado se caracteriza por: Utilizar pequeños caudales a baja presión, aplica el agua en la proximidad de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión. Al reducir el volumen de suelo mojado y, por tanto, su capacidad de almacenamiento de agua, se opera con la frecuencia necesaria para mantener un alto contenido de humedad en el suelo. Esta propuesta tecnológica permite aumentar la eficiencia del uso del agua, mejora su distribución y disminuye los costos de mano de obra.

La característica distintiva de los sistemas presurizados es la aplicación del agua directamente al suelo mediante emisores que requieren presión para su funcionamiento, lo que implica un sistema de tuberías funcionando con la presión necesaria para hacer llegar el agua desde la fuente hasta los emisores. Aunque la tecnología de estos sistemas es simple requiere cierta inversión y un mantenimiento cuidadoso, ya que por ejemplo los goteros pueden obstruirse fácilmente.

En los sistemas de riego localizado el agua se aplica al suelo con alta frecuencia, esto permite mantener baja la salinidad del agua del suelo y en niveles adecuados la capacidad de absorción de las raíces, por efecto de la localización del riego, (Pizarro, 1996).

Varios autores han publicado en relación a las ventajas e inconvenientes de los sistemas de riego por goteo.

1. Experiencias prácticas han demostrado que con los sistemas de riego por goteo es posible lograr una utilización racional agua ya que debido a la alta frecuencia, el aprovechamiento del agua por parte de las plantas es significativamente mayor, minimizando las pérdidas debidas a la percolación profunda e incrementando los rendimientos.
2. Un sistema de riego por goteo bien diseñado y construido, con un nivel adecuado de automatización puede generar ahorros en los costos operacionales de la instalación y además propicia un mejor manejo del agua de riego.

3. Con los SRG es posible utilizar aguas con cierto tenor salino e incluso aguas residuales tratadas y correctamente filtradas.
4. Los sistemas de riego por goteo son adaptables a condiciones desfavorables de las parcelas, tanto desde el punto de vista del relieve como de la geometría de la misma.
5. El hecho de localizar el riego muy cerca del sistema radicular de las plantas incrementa la eficiencia en la fertirrigación.
6. Las instalaciones de riego por goteo facilitan las labores agrotécnicas necesarias para los cultivos.

#### **1.4.- Inconvenientes de los sistemas de riego por goteo.**

1. Elevados costos de inversión inicial.
2. El alto riesgo de obturación de los emisores generalmente implica costosos equipamientos para el filtrado.
3. Se dificulta la detección de deficiencias en la uniformidad de distribución de los caudales, principalmente en las grandes instalaciones.
4. Las sales tienden a concentrarse en la periferia superficial de los bulbos húmedos y pueden ser removidas hacia el interior de los mismos como consecuencia de lluvias ligeras, en cuyo caso no se debe detener el riego.
5. Las acciones perjudiciales de los roedores e insectos, así como las propias raíces de algunos cultivos pueden afectar algunos componentes de la instalación.
6. Los sistemas de riego por goteo requieren de operadores con un nivel elevado para acometer las labores de operación y mantenimiento de la instalación.

#### **I.2-- Criterios de selección de técnicas de riego localizado.**

De acuerdo con (Prinset *al.*, 1992) de forma general se puede establecer que en la elección de cualquier método de riego se deben tener en cuenta los siguientes factores.

1. **Condiciones naturales:** Esto incluye el tipo de suelo, la pendiente del terreno, el clima, la capacidad de la fuente de abasto y la calidad del agua. Las técnicas de RLAF presentan claras ventajas sobre los demás métodos de riego en este aspecto, debido a su adaptabilidad a las condiciones naturales adversas,

aunque en el caso de suelos medios, pendientes suaves, climas favorables y calidad y cantidad del agua de riego suficientes, las ventajas de una transformación de las técnicas de riego convencionales eficientes hacia el Riego Localizado serían más que un aumento en los rendimientos del cultivo, una reducción de la fuerza de trabajo, facilidades en la explotación y en la lucha contra las enfermedades y las malas hierbas.

2. **Tipo de cultivo:** El riego superficial puede utilizarse para cualquier cultivo. Dado su alto costo de inversión inicial el Riego Localizado se debe utilizar en cultivos rentables, como los cítricos y frutales, plátanos, vegetales, cultivos hortícolas, caña de azúcar, los hidropónicos y sus variantes.
3. **Tipo de tecnología:** En los sistemas RLAF se requiere más equipamiento que en los métodos de riego clásicos esto condiciona que hay que tener en cuenta el costo del equipamiento, su explotación y mantenimiento en el momento de elegir la técnica de riego.
4. **Experiencia con el método de riego a emplear:** A veces es preferible instalar una técnica conocida de riego que encarar las complicaciones que conlleva introducir una más sofisticada pero desconocida, pues se corre el riesgo de ser rechazada o mal empleada por los usuarios.
5. **Labores que requiere la construcción, explotación y mantenimiento de la técnica de riego a implantar:** En cuanto a esto, se puede afirmar que en las técnicas RLAF es donde mejor se correlacionan estos tres aspectos.
6. **Costos y beneficios:** Estos deben estimarse antes de decidirse por un método de riego cualquiera, en los costos no solo deben tenerse en cuenta los relacionados con la construcción e instalación del sistema, sino también los de operación y mantenimiento, todos ellos se comparan con los beneficios que reportarían los rendimientos esperados y finalmente se decide por el método más atractivo económicamente.

En resumen no pueden considerarse las técnicas de RLAF como las sustitutas de las demás técnicas de riego tradicionales, sino como otra opción de riego y en cada caso particular es conveniente considerar las ventajas e inconvenientes con respecto a las otras técnicas de riego. Los mismos deben concebirse como todo

un paquete tecnológico que incluye los análisis de la calidad del agua para el riego, la aplicación del fertirriego, la prevención de obturaciones por medio de lavados con aplicaciones químicas, la labores agrotécnicas del cultivo, el manejo del riego e incluso los sistemas de drenaje superficial e interno, entre otros. Todos los cuales contribuyen desde su implementación al éxito de la inversión. Desde el punto de vista docente se sugiere establecer los indicadores de selección de acuerdo a las características del complejo Agua – Suelo – Planta – Clima en el escenario de uso.

### **I.3.- Fundamentos teóricos del diseño agronómico.**

El proceso de diseño se divide normalmente en dos fases, diseño agronómico del riego, con el que se determina la cantidad de agua que ha de transportar la instalación, correspondiente a las necesidades brutas de riego en las épocas de máxima necesidad; y diseño hidráulico de la instalación, cuyo fin es determinar las dimensiones, ubicación y funcionamiento óptimo de las conducciones, componentes y resto de elementos, para satisfacer las exigencias establecidas previamente en el diseño agronómico.

El diseño agronómico consiste primordialmente en determinar las necesidades hídricas del cultivo, es decir se calcula la cantidad de agua que necesita el cultivo para su normal desarrollo sin ocasionar un déficit hídrico, dependiendo primordialmente de factores climatológicos y otros propios del cultivo. Para iniciar el diseño se debe tener conocimiento de las condiciones topográficas, edafológicas, agronómicas, hidrológicas y climáticas de la zona de estudio.

Volumen de suelo humedecido: En riego localizado el agua se aporta sólo a una parte del suelo, por lo que a efectos de diseño se ha de establecer un mínimo volumen de suelo a humedecer, que debería ser suficiente para garantizar a la planta el suministro de agua necesaria para su desarrollo adecuado.

Número y disposición de los emisores: Para determinar el número de emisores y la disposición de los mismos, habrá que considerar aquellos cultivos que tienen un amplio marco de plantación, y los que presentan una alta densidad de plantación.

Frecuencia y duración del riego: La frecuencia de aplicación de agua es el número de veces que se riega en un tiempo determinado, mientras que el intervalo entre

riegos es el tiempo transcurrido entre la aplicación de un riego y el siguiente. Al aplicar el agua de una forma irregular, se puede provocar a la planta una situación de falta de agua que, según intensidad, duración y estado de desarrollo, origina una posterior disminución de la producción. Para conseguir una alta eficiencia en riego localizado, se debe aportar el agua siguiendo la norma de “riegos cortos pero muy frecuentes”.

De forma general se recomienda que el tiempo total de riego del conjunto de la instalación sea inferior a 24 horas al día, pues deben quedar algunas horas libres dedicadas al mantenimiento de la instalación, recarga de abonos y reparación de las posibles averías. Se aconseja que el tiempo máximo de riego sea de 20 horas al día.

El diseño agronómico de un sistema de riego tiene que ver con el cuándo y cuánto regar; consiste en dimensionar la superficie máxima de cada unidad, así como su intervalo y tiempo de riego a partir de la lámina de diseño, el tiempo de operación, número de emisores por planta, etc. para llegar finalmente a conocer la capacidad requerida del sistema; en caso de no coincidir con la capacidad disponible se deben realizar los ajustes correspondientes. Para el cálculo se requiere conocer la interrelación entre las características y/o propiedades del agua y el suelo, así como tomar en cuenta las particularidades de cada cultivo como su estado fenológico y su requerimiento hídrico.

### **I.3.1.- Necesidades de agua en los sistemas de riego por goteo.**

Varios autores se han referido a la importancia del diseño agronómico en todo proyecto de riego, de nada sirven unos afinados cálculos hidráulicos y una apropiada selección de los equipos de impulsión, etc., si desde el diseño agronómico no se garantiza suministrar con una óptima eficiencia las necesidades hídricas del cultivo durante el período de máxima demanda, evitando al mismo tiempo la salinización del suelo por falta de lavado o la insuficiencia en el volumen de suelo humedecido por instalar un número equivocado de emisores.

Este objetivo se logra utilizando en cada caso un número de emisores y un caudal determinado en función de las propiedades físicas del suelo y de la dosis de riego a aplicar, la forma que presenten las zonas mojadas suministrará elementos de

juicio para elegir la disposición de laterales más correcta. La respuesta del cultivo a la aplicación del riego así como otros criterios de tipo económico como el costo del agua, el valor de la cosecha, etc., son la base para decidir la eficiencia de aplicación.

Por otra parte la tolerancia del cultivo a la salinidad y la calidad del agua de riego, pueden hacer incrementar las necesidades netas de riego con alguna fracción de lavado, esta cantidad deberá mayorarse con la eficiencia de aplicación para garantizar que las plantas que menos agua recibe, dispongan de suficiente cantidad para satisfacer las necesidades estimadas (Necesidades totales de riego). Para suministrar estas necesidades se pueden elegir varias combinaciones de dosis y frecuencias que se deberán tantear en unión del caudal de los emisores a fin de determinar que número de ellos se necesitaría para conseguir el volumen de suelo mojado adecuado.

Una vez determinados todos estos valores se puede calcular el tiempo de aplicación, que es un parámetro definitorio en el diseño de la unidad rotacional, el diseño agronómico proporciona además los datos básicos para el diseño hidráulico tales como caudal por emisor y planta, frecuencia y duración del riego, etc., por todo esto y lo anteriormente expuesto es una parte del proyecto donde hay que extremar el sentido común y el rigor en los cálculos.

Disponer de una buena estimación de las necesidades de riego es imprescindible para el diseño de cualquier sistema de riego, en éste caso lo que interesa conocer son las necesidades punta, pues las instalaciones deben diseñarse para satisfacer las necesidades pico, aunque para otros tipos de trabajo interesa conocer las necesidades estacionales de riego, como por ejemplo en los estudios técnico-económicos. A pesar de que los procedimientos básicos para estimar las necesidades de riego de los cultivos bajo Riego Localizado son los mismos que se emplean con otras técnicas de riego, deben utilizarse posteriormente coeficientes correctores que propician que las necesidades de estos sistemas puedan ser diferentes.

Los sistemas de riego por goteo si están debidamente diseñados permiten alcanzar una alta eficiencia de aplicación, esto implica un ahorro de agua en



comparación con otros métodos de riego, pero cuando el cultivo está cubriendo la totalidad de la superficie del suelo, el consumo de agua de la planta es básicamente el mismo independientemente de la técnica de riego escogida. Por el contrario cuando el cultivo no cubre la totalidad de la superficie del suelo, los sistemas de riego por goteo permiten un ahorro de agua adicional al debido a la eficiencia muy considerable ya que solo humedece las zonas próximas a las plantas quedando secos los espacios entre ellas y en estas condiciones la reducción de evaporación suele ser más importante que el posible incremento en transpiración.

Por otra parte, frecuentemente las condiciones de manejo del riego en los distintos sistemas no son comparables, de modo que buena parte de estos aspectos se deben al manejo y no al sistema de riego en sí, esto explica la importancia del manejo del riego para lograr una correcta eficiencia de aplicación independientemente del método de conducción y aplicación del agua.

En riegos de alta frecuencia, donde reduce su importancia el papel del suelo como reserva de agua para las plantas, la estimación de la evapotranspiración del cultivo adquiere mayor relevancia, siendo un factor esencial para el manejo de riegos y el diseño de instalaciones. Se puede resumir parcialmente que el mayor ahorro de agua con los sistemas de riego por goteo se logra con plantaciones jóvenes de árboles, que es cuando la fracción de la superficie sombreada por los cultivos al mediodía en el solsticio de verano alcanza los valores más reducidos y por lo tanto los consumos de la planta son mínimos. En la medida que los árboles crecen, su consumo se va aproximando al que ocurre con riegos convencionales. En cultivos en hileras tales como las Hortalizas, la disminución del consumo de agua (ETc) es prácticamente despreciable; concluyendo se puede decir que si hay importantes ahorros por la disminución de las pérdidas, ciertos ahorros en el caso de árboles jóvenes y que no se ahorra prácticamente en el caso de cultivos densos en hilera.

Con relación a la adaptación de las raíces a los sistemas de riego por goteo, las mismas no solo se limitan al área donde se desarrollan los bulbos húmedos característicos de este método de riego, principalmente en climas lluviosos.

Probablemente fuera del bulbo húmedo, encuentren un ambiente más nutritivo y con menos toxinas; está demostrado que el que las plantas utilicen un determinado porcentaje de suelo no quiere decir que el porcentaje de raíces activas sea el mismo, al contrario este será mucho más elevado debido a su concentración y por otro lado las plantas se desarrollan bien aunque no todo su sistema radicular sea activo.

#### **I.3.1.1.- Estimación de la evapotranspiración de diseño.**

La evapotranspiración no es más que la suma de dos fenómenos estrechamente relacionados entre sí, la evaporación y la transpiración. La primera, es la evaporación directa del agua desde el suelo en el cual se encuentran establecidas las plantas, hacia la atmósfera y la transpiración es la evaporación desde las estomas de la planta del agua absorbida por estas. Anteriormente se utilizaban varios métodos para estimar la evapotranspiración: Blaney – Criddell, Radiación, de Penman, el del Tanque Evaporímetro clase “A”, etc. De acuerdo con (Allen *et al.*, 1998), el método FAO Penman – Monteith, propuesto por consultores de la FAO, se presenta como el que ofrece resultados más precisos, aunque el del Evaporímetro clase “A”, es el que más se utiliza en las condiciones de Cuba, este último mide la evaporación realmente ocurrida en la superficie libre del agua en un tanque de dimensiones estandarizadas que se instala siguiendo normas establecidas. Se reconocen tres formas diferentes de evapotranspiración, estas son:

1. Evapotranspiración Potencial: Es la cantidad de agua evapotranspirada por un cultivo de poca altura que cubre totalmente la superficie del suelo, posee una altura uniforme y crecimiento activo cuando el estatus del potencial hídrico del suelo es tal que permite la máxima extracción de agua.
2. Evapotranspiración máxima: Es la cantidad de agua evapotranspirada por un cultivo cualquiera en condiciones de potencialidad, es decir, cuando el estatus del potencial hídrico del suelo es tal que permita la máxima extracción de agua.
3. Evapotranspiración real: En contraposición con la evapotranspiración máxima, es la cantidad de agua evaporada por un cultivo en condiciones en que la oferta es inferior a la demanda, es decir es el consumo de agua de un cultivo

cualquiera bajo condiciones restrictivas de conducción de la plantación y de la conducción del riego.

El método del tanque evaporímetro clase “A” puede emplearse para estimar cualquiera de las tres formas reconocidas de evapotranspiración, las formas de evapotranspiración que más interesan con fines de diseño son la evapotranspiración máxima y la real, el empleo de una u otra en la práctica, depende de la técnica de riego que se utilice. Al diseñar sistemas de riego por goteo, se alcanzan incrementos significativos de la producción y en consecuencia el sistema incrementa su rentabilidad, pues a ellos les son inherentes la alta frecuencia del riego y pueden garantizar al cultivo un potencial hídrico en el suelo consecuente con su máximo consumo, sin provocar un incremento significativo de los costos de explotación e inversión inicial, ni deteriorar la estructura del suelo o dañar al cultivo.

#### **I.3.1.2.-Probabilidad de diseño de la evapotranspiración.**

Al emplear las técnicas de riego localizado la probabilidad de diseño apenas influye en los costos de inversión inicial y explotación de los sistemas, aquí es más conveniente utilizar la evapotranspiración al 10 %P y la lluvia al 90 %P y con esto se garantiza cubrir las demandas máximas del cultivo el 90 % de los años. El cálculo de la evapotranspiración no presenta diferencias respecto al riego tradicional, ésta se calcula utilizando los coeficientes de cultivo y los valores de la evaporación observada en el tanque y llevada a la probabilidad de diseño. El producto así obtenido se corrige por un coeficiente debido a la localización del riego, obteniendo así la evapotranspiración para Riego Localizado.

Autores como Hernández Abreu citado por (Pizarro 1996), plantean que es apropiado considerar un coeficiente de variabilidad climática ( $1.15 \leq K_V \leq 1.2$ ) para tener en cuenta el hecho de que los valores de evapotranspiración estimados corresponden a valores ya medidos y no a los máximos previstos durante el ciclo vegetativo de los cultivos. En todo caso cuando se utilizan los valores medidos en las cubetas y éstos son transformados estadísticamente a un valor de probabilidad de ocurrencia, no es propicio tener en cuenta este coeficiente, caso contrario a cuando se obtiene la ETo por medio de la ecuación FAO – Penman – Monteith.

Otros autores plantean además afectar la evapotranspiración por un factor de corrección por Advección, el cual depende del tamaño de la zona de riego, el valor de este coeficiente para diferentes condiciones y cultivos no será tenido en cuenta hasta tanto se precise su cuantía para las condiciones de Cuba.

### **I.3.2.- Estimación de las necesidades netas.**

Es práctica habitual que las necesidades netas de riego crítica en los sistemas de goteo se hagan coincidir con el consumo de agua diario, es decir con la evapotranspiración, el valor de la Evaporación se puede obtener de la curva de 10 % de probabilidad de ocurrencia confeccionada con la serie del mes punta. De lo contrario se puede obtener ETo por medio de la ecuación FAO – Penman – Monteith o por medio de Cropwat versión 8.0 que son herramientas más rigurosas. El coeficiente de cultivo (Kc) se determina para las tres fases del ciclo vegetativo y se toma para el diseño el mayor de los tres valores. Este coeficiente es adimensional y varía mayormente con las características del cultivo y muy poco con las condiciones climáticas, por esa razón se aceptan las extrapolaciones de los valores de dicho coeficiente para un mismo cultivo en diferentes regiones climáticas. Es básicamente la relación entre  $\frac{E_c}{E_o}$ , e integra 4 efectos principales los cuales distinguen la ( $E_c$ ) de la ( $E_o$ ).

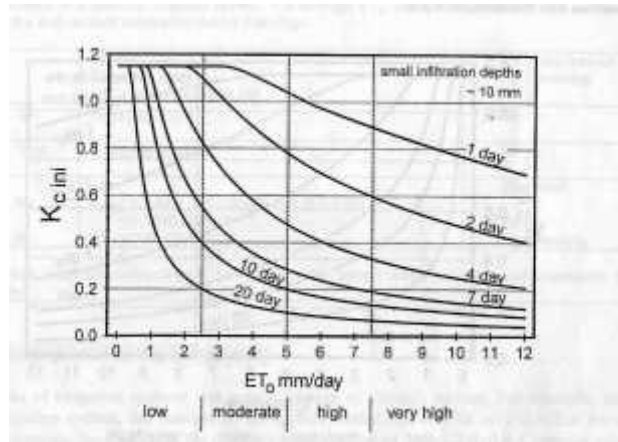
1. La altura del cultivo: Esta característica influye en la resistencia aerodinámica del cultivo y el intercambio de vapor entre este y la atmósfera.
2. La reflectancia de la superficie del suelo y de las hojas (Albedo): Es afectada por la sombra que provoca el follaje de los cultivos sobre el suelo y por la retención de humedad en el suelo que se favorece con esta sombra. Es decir influye en el valor de la radiación neta ( $R_{n}$ ).
3. La resistencia del follaje del cultivo: Influye en la transferencia de vapor entre las hojas y la atmósfera.
4. La evaporación de la superficie no cultivada incluida dentro del marco de siembra del cultivo.

El coeficiente  $K_c$  integra los efectos de las características que diferencian el cultivo a irrigar del cultivo de referencia, por lo tanto su valor es diferente para cada cultivo y también para cada etapa de crecimiento de estos. (Allen *et al.*, 1998),

ofrecen valores de ( $K_c$ ) para diferentes estadios del cultivos y condiciones climáticas estándar (cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ( $H_{\text{m}} \approx 45\%$ ,  $V \approx 2 \text{ m/s}$ ), los mismos pueden ser utilizados para el cálculo de ( $E$ )). Los factores que afectan  $K_c$  se pueden resumir en:

1. Características del cultivo: La altura del cultivo, el follaje y el marco de siembra. Las altas densidades de siembra en cultivos altos como el Maíz, la Caña de Azúcar y el Sorgo, infiere valores de ( $K_c$ ) superiores a 1 hasta en un 20 %
2. Factores climáticos: La humedad relativa, la velocidad del viento. Para la mayoría de los casos se cumple que al aumentar la velocidad del viento disminuye la humedad del aire, por esta razón generalmente en los climas áridos y condiciones de vientos fuertes los valores de ( $K_c$ ) son mayores que en las regiones húmedas y velocidades del viento calmas.
3. Evaporación de la superficie del suelo: Para cultivos pequeños y de poca sombra el valor de ( $K_c$ ) esta en función de la frecuencia de riego. Cuando el suelo está húmedo aumenta la evaporación del suelo y el valor de ( $K_c$ ) puede exceder de 1, lo contrario ocurre cuando el suelo está seco, el valor de ( $K_c$ ) puede llegar a valores de 0.1
4. Ciclo vegetativo: En la medida que el cultivo se desarrolla va aumentando su altura y su follaje y como consecuencia la sombra que genera sobre la superficie del suelo. Por ello la evapotranspiración difiere durante los distintos estadios de las plantas y con ello varia también ( $K_c$ ).

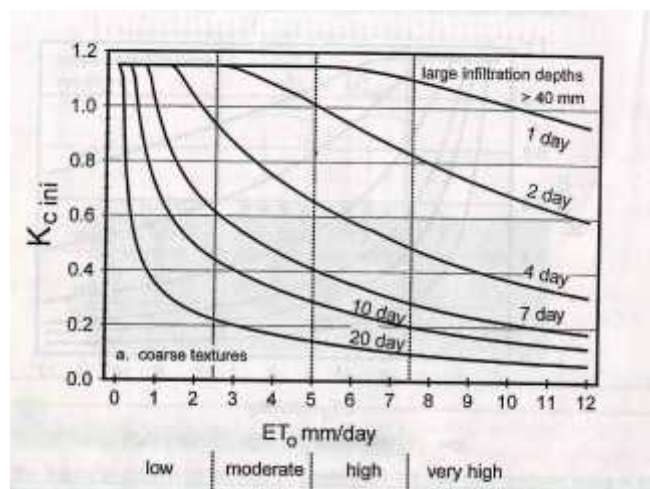
En el caso de la fase inicial del cultivo, ( $K_{ci}$ ), puede ser obtenido en función de la frecuencia de riego y de la lluvia caída durante el periodo, así como de la ( $E_o$ ) y la lámina de riego infiltrada ( $D$ ). Para eventos de humedecimiento de ligero a medio ( $D \leq 10 \text{ m}$ ) se puede obtener a partir de la figura 4, que se muestra a continuación. Válida para cualquier tipo de suelo e  $D \leq 10 \text{ m}$  (p/ Riego Localizado y Pívor).



**Figura 4.-** Valor promedio de ( $K_{c\ ini}$ ) en función de ( $ET_0$ ), y ( $D \leq 10\ m$ ).

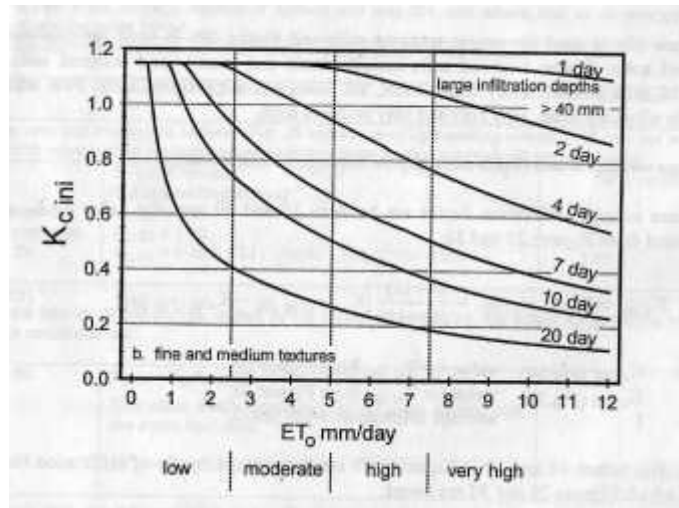
$K_{c\ ini}$ , también puede ser obtenido para eventos de humedecimiento mayores ( $D \geq 40\ m$ ), en estos casos la cantidad de agua disponible en la superficie del suelo para ser evaporada es mayor, así como el tiempo necesario para consumirla. Esto infiere que  $K_{c\ ini}$  será mayor que en el caso anterior, y como el tiempo requerido para evaporar la humedad disponible en la superficie del suelo depende de la capacidad de almacenamiento del suelo, es necesario tener en cuenta el tipo de suelo para ajustar  $K_{c\ ini}$ .

Esta corrección se realiza con la figura 5, la misma es válida para suelos de textura arenosa.



**Figura 5.-** Valor promedio de  $K_{iD}$ , en función de ( $E_o$ ), y ( $D \geq 40 m$ ).

Para suelos de textura media y fina y ( $D \geq 40 m$ ),  $K_{iD}$  se obtiene de la figura 6.



**Figura 6.-** Valor promedio de  $K_{iD}$ , en función de ( $E_o$ ), y ( $D \geq 40 m$ ).

Para ( $10 m < D < 40 m$ ), el ajuste de  $K_{iD}$ , se realiza interpolando entre las dos situaciones a partir de la siguiente expresión y teniendo en cuenta la figuras 4, 5 ó 6 según corresponda

$$K_{c(iD)} = K_{iD} [F = .5] + \frac{D - 1}{4 - 1} \times (K_{iD} [F = .6 \text{ ó } 7] - K_{iD} [F = .5]) \quad (1.1)$$

Algunas técnicas de riego solo humedecen una porción de la superficie del suelo que es sombreada por el cultivo ( $f_w$ ). En riego por goteo se humedece hasta el 40 % de esta área, y ( $D$ ) debe ser afectada por este factor ( $f_w$ ), así:  $D = \frac{D}{f_w}$ . En la tabla 1 se sugieren algunos valores.

**Tabla 1.-** Valores comunes de ( $f_w$ ) para diferentes técnicas de riego.

| Eventos de humedecimiento | Fracción de la superficie humedecida del suelo ( $f_w$ ) |
|---------------------------|--|
|---------------------------|--|

|   |           |
|---|-----------|
| Precipitación, riego por aspersión, riego por bandas, riego por terrazas. | 1.0       |
| Riego por surcos estrechos.   | 0.6 a 1.0 |
| Riego por surcos anchos.  | 0.4 a 0.6 |
| Riego por surcos alternos   | 0.3 a 0.5 |
| Riego por goteo   | 0.3 a 0.4 |

Los valores de  $K_{ij}$  obtenidos por el procedimiento anterior deben ser también ajustados en función de este porcentaje realmente humedecido  $K_{ij} = f_w \times K_{ij}$  en este sentido para obtener un valor más real de  $K_{ij}$  obtenido por el procedimiento anterior,

Para los coeficientes de cultivo correspondientes a las fases media y final, se determinan los coeficientes  $K_c(m)$  y  $K_c(f)$ . El cuadro12 FAO. 56 pag.134, ofrece los valores de  $K_c(m)$  y  $K_c(f)$  para la mayoría de los cultivos agrícolas, los mismos fueron obtenidos por el Comité de Consultores de la FAO, (Allen *et al.*, 1998), y se corresponden con cultivos que crecen en condiciones normales y considerando ( $H_m = 45\%$ ), ( $V = 2 \text{ m/s}$ ), y para la altura máxima que alcanzaría el cultivo en esas condiciones. En los climas áridos los vientos predominantes suelen ser mucho más fuertes, lo contrario de lo que ocurre en los climas húmedos, por ello  $K_c(m)$  y  $K_c(f)$  serán corregidos por las expresiones siguientes, válidas para: ( $H_m \neq 45\%$ ) y ( $u_2 \neq 2 \text{ m/s}$ ).

$$K_c(m) = K_c(m)_{ti} + [0.04 \times (u_2 - 2) - 0.004 \times (H_m - 45)] \times \left(\frac{n}{3}\right)^{0.3} \quad (1.2)$$

$$K_c(f) = K_c(f)_{ti} + [0.04 \times (u_2 - 2) - 0.004 \times (H_m - 45)] \times \left(\frac{n}{3}\right)^{0.3} \quad (1.3)$$

**Donde:**

$K_c(m)_{ti}$  .- Valor de  $K_c(m)$  cuadro12 FAO. 56 pag.134, los valores de  $K_c(m)$  son menos afectados por la frecuencia de eventos de humedecimiento que  $K_c(i)$ . Para eventos de humedecimientos menores de 3 días y cuando  $K_c(m)_{ti} < 1$  a  $1.1 \leq K_c(m) \leq 1.3$

$K_c(f)_{ti}$  .- Valor de  $K_c(f)$  cuadro12 FAO. 56 pag.134, en la misma se ofrecen los valores de  $K_c(f)$  para la fase final del ciclo vegetativo de la mayoría de los grupos de cultivos agrícolas, este parámetro refleja las prácticas de cultivo y de



manejo del agua de riego en esta fase del ciclo vegetativo de los cultivos. Para cultivos que son irrigados con alta frecuencia hasta el comienzo de la cosecha el valor de  $K_c(f)$  es mayor que en los casos en que los cultivos no son irrigados durante la etapa final de su ciclo vegetativo.

$V$  .- Valor medio de la velocidad del viento durante la fase media del ciclo vegetativo, tomada a 2 m de altura: generalmente  $1 \text{ m/s} \leq u_2 \leq 6 \text{ m/s}$ .

$h$  .- Altura promedio de la planta durante la fase media del ciclo vegetativo: generalmente  $0.1 \text{ m} < h < 10 \text{ m}$ , la tabla 5 ofrece valores de  $h$  para los diferentes cultivos (grupos de cultivos), los mismos podrán ser utilizados cuando no existan registros confiables de informaciones de campo.

$H_m$  .- Valor medio de la  $H_m$ , generalmente en la fase media:  $20 \% \leq H_m \leq 80 \%$

Las necesidades netas hídricas punta ( $N$ ) (mm/día) se obtienen por:

$$N = E_{1\% p} \times K \times K \times K \times K = E \times K \times K \times K \times K \quad (1.4)$$

**Donde:**

$E_{1\% p}$  .- Es la evaporación en (mm/día), obtenida de la serie media mensual del mes de máxima demanda al 10 % de probabilidad de ocurrencia.

$K$  .- Es el coeficiente de cultivo (el mayor de las fases del ciclo vegetativo).

$K$  .- Es el coeficiente de Advección (se toma la unidad hasta tanto se precise su valor para las condiciones de Cuba).

$K$  .- Es el coeficiente de variabilidad climática (1.15 a 1.2), al igual que la probabilidad de ocurrencia de la evaporación este parámetro tiene en cuenta que además de la variación climática interanual existe otra diaria, por ello se propone aplicar un método de pronóstico de riego diario.

$K$  .- Es el coeficiente de corrección de la cubeta en función de la distancia a barlovento, la humedad relativa media y la velocidad máxima de los vientos a 2m de altura.

$K$  .- Es el coeficiente debido al efecto de la localización del riego.

Autores como (Hernández Abreu, 1990) citado por (Pizarro, 1996), plantean que cuando no es posible el procedimiento estadístico referido anteriormente, es apropiado considerar un coeficiente ( $K_{VC}$ ) de variabilidad climática (1.15  $K_{VC}$

1.20), para tener en cuenta el hecho de que los valores de evapotranspiración estimados corresponden a valores ya medidos y no a los máximos previstos durante el ciclo vegetativo, siendo necesario mayorarlas necesidades de agua del cultivo para corregir las épocas deficitarias.

En todo caso, cuando se utilizan los valores medidos en las cubetas Clase "A" y éstos son transformados estadísticamente a un valor de 10% de probabilidad de ocurrencia, no es preciso tener en cuenta este coeficiente, caso contrario a cuando se obtiene la  $ET_o$  por medio de la ecuación FAO Penman-Monteith u otra ecuación válida como la de Hargreaves-Samani.

De acuerdo con (Pizarro 1996), el cálculo de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) no presenta diferencias respecto al riego tradicional, ésta se calcula utilizando el coeficiente de cultivo y el valor de ( $ET_o$ ) calculado y llevado a la probabilidad de diseño, posteriormente, el producto así obtenido se corrige por un coeficiente debido a la localización del riego ( $K_L$ ), obteniendo así la evapotranspiración para Riego Localizado ( $ET_{CRL}$ ).

( $K_L$ ), ha sido determinado por numerosos procedimientos, que basan su cálculo en la fracción de la superficie sombreada por la cubierta vegetal respecto a la superficie total, a mediodía en el solsticio de verano. En la práctica se consideran los cuatro procedimientos reconocidos y se recomienda al aplicar todas las fórmulas, eliminar los dos valores extremos y utilizar la media de los dos valores más próximos.

Otra corrección también se realiza por medio del coeficiente de advección ( $K_{ADV}$ ), el cual tiene en cuenta el efecto de los cultivos colindantes; en dependencia de la superficie que éstos ocupen, así como de sus características relacionadas con la transmisión de humedad por medio de los vientos, pueden reducir las necesidades de agua de riego o incrementarlas, en caso de que los cultivos colindantes sean mayormente secos. Este coeficiente es muy difícil de estimar y en la práctica del diseño, no se tiene en cuenta hasta tanto se precise su valor para condiciones específicas. Se recomienda para el diseño ( $K_{ADV} = 1$ ).

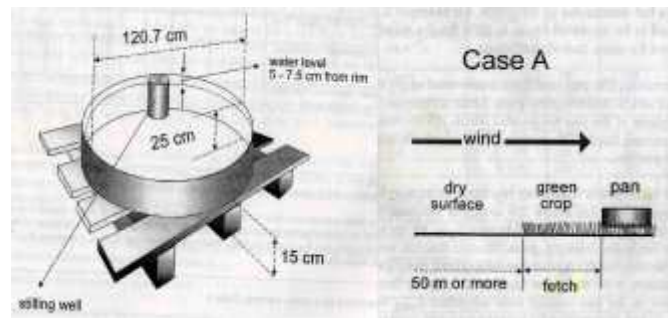
Con relación a ( $K$ ) es válido aclarar que: la evaporación de la cubeta es un parámetro muy fácil de medir cuando la misma está instalada apropiadamente. En ausencia de precipitaciones, la cantidad de agua evaporada (mm/día), se corresponde con la disminución del nivel de agua en la cubeta. Su valor integra los efectos de los mismos factores climáticos que intervienen en la transpiración del cultivo: *la radiación, la humedad y temperatura del aire y la velocidad del viento*, sin embargo algunos de estos factores tienen un comportamiento diferente, lo cual conlleva a diferencias entre las pérdidas de agua que se producen en la cubeta con relación a las que se producirían en el cultivo de referencia.

A pesar de éstas, su utilización, ofrece resultados aceptables para periodos de 10 días o más, la práctica del riego indica calibrarlos a partir de la ETo obtenida por el método FAO Penman – Monteith, su relación con ETo se expresa mediante:

$$E = E_c \times K_p \quad (1.5)$$

El Evaporímetro de cubeta clase A es circular, se fabrican con un diámetro de 1.207 m y una profundidad de 0.25 m, se construyen de metal, preferiblemente de Acero Galvanizado (22 gauge). Es montado sobre una base de madera que lo separa de la superficie del suelo bien alisada a 0.15 m, el evaporímetro quedará instalado de forma horizontal y lleno de agua hasta una distancia de 5 a 7.5 cm por debajo del borde superior de la cubeta, esta agua debe ser cambiada semanalmente para eliminar la turbidez extrema.

Las cubetas galvanizadas se pueden pintar anualmente con pintura de Aluminio, no son recomendables las cubiertas de vidrio sobre la cubeta para protegerlas de los animales. El lugar debe estar cubierto de pasto (20 m × 20 m) y abierto a la atmosfera para permitir la libre circulación del aire, preferiblemente en el centro de una extensión cultivada. Las lecturas deben realizarse diariamente, en la mañana y a la misma hora.



**Figura 7.-** Representación del Evaporímetro clase A. (Allen et al., 1998).

Los valores de ( $K_p$ ) dependen del tipo de cubeta y de las características del entorno donde se encuentren ubicados, también dependen de la velocidad del viento y de la condiciones de humedad.

$$K_p = 0.108 - 0.0286 \times V + 0.0422 \times l_i (f - h) + 0.1434 \times l_i (H_m) - 0.000631 \times [l_i (f - h)]^2 \times l_i (H_m) \quad (1.6)$$

**Donde:**

$V$  .- Promedio diario de la velocidad del viento (m/s) medido a 2m de altura de la cubierta vegetal. Su valor puede ser asumido a partir de la tabla 2.

**Tabla 2.-** Valores de ( $K_p$ ) para diferentes entornos: (Allen et al., 1998).

| $V$<br>(m/s)        | FETCH<br>(m) | $H_m$ (%)      |                    |                |
|---------------------|--------------|----------------|--------------------|----------------|
|                     |              | BAJA<br>(< 40) | MEDIA<br>(40 a 70) | ALTA<br>(> 70) |
| Ligero<br>(< 2)     | 1            | 0.55           | 0.65               | 0.75           |
|                     | 10           | 0.65           | 0.75               | 0.85           |
|                     | 100          | 0.70           | 0.80               | 0.85           |
|                     | 1000         | 0.75           | 0.85               | 0.85           |
| Moderado<br>(2 a 5) | 1            | 0.50           | 0.60               | 0.65           |
|                     | 10           | 0.60           | 0.70               | 0.75           |
|                     | 100          | 0.65           | 0.75               | 0.80           |
| Fuerte<br>(5 a 8)   | 1            | 0.45           | 0.50               | 0.60           |
|                     | 10           | 0.55           | 0.60               | 0.65           |
|                     | 100          | 0.60           | 0.65               | 0.70           |
| Muy fuerte<br>(> 8) | 1            | 0.40           | 0.45               | 0.50           |
|                     | 10           | 0.45           | 0.55               | 0.60           |
|                     | 100          | 0.50           | 0.60               | 0.65           |
|                     | 1000         | 0.55           | 0.60               | 0.65           |

### I.3.3.- Cálculo de las necesidades totales ( $N$ ).

Para el cálculo de las Necesidades Totales a partir de las ( $N$  ) hay que tener en cuenta tres elementos:

1. Pérdida de agua por percolación: Las pérdidas de agua en la parcela en los RLAF son prácticamente las debidas a la percolación, las pérdidas por escorrentía solamente se presentan en casos de manejos de riego muy deficientes por lo que no se tendrán en cuenta.
2. Necesidades de lavado: Las necesidades de lavado son un sumando que hay que añadir a las  $N$  para mantener la salinidad del suelo a un nivel no perjudicial al cultivo.
3. Falta de uniformidad del riego: La falta de uniformidad del riego se debe a varias causas: Hidráulicas, constructivas, climáticas, de envejecimiento y obturación de los emisores, etc., las mismas provocan que los emisores arrojen caudales diferentes y por tanto los cultivos reciban dosis de riego desiguales, a efectos de diseño se establece la condición de que la parte de la parcela que menos agua reciba, se le entregue como promedio, cierta fracción de la dosis media, a esa fracción se le llama Coeficiente de Uniformidad y se representa por  $C$  .

De acuerdo con (Pizarro 1996), la dosis media se aumenta de forma que la fracción de la finca menos regada reciba la cantidad de agua necesaria para su desarrollo, el  $C$  se puede utilizar para la evaluación de instalaciones en funcionamiento o para el diseño de nuevas instalaciones, en el diseño agronómico, es una condición que se impone, se puede fijar a voluntad, pero en su elección hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea su valor, más uniforme será el riego, menores serán las necesidades totales ( $N$  ), y el consumo de agua será menor, es decir que en la parte más regada de la parcela sobraré menos agua, pero en cambio la instalación será más cara, ya que para lograr que haya menos dispersión de caudales el régimen de presiones exige mayores diámetros de tuberías, laterales más cortos, mayores inversiones en reguladores de presión, etc. La elección del  $C$  es por tanto una cuestión económica, en Cuba se ha

adoptado que  $C = 90\%$ , siguiendo la sugerencia planteada por la FAO, así, las  $(N)$  se obtienen por medio de:

$$N = \frac{N}{C(1-K)} \quad (1.7)$$

**Donde:**

$K = 1 - E_a$  (si existe riesgo de pérdidas por percolación).

$K = L$  (en el caso de necesidades de lavado de sales).

Para la aplicación práctica de esta fórmula se trabaja con el mayor valor de  $K$ , es decir, si las pérdidas por percolación son mayores que las necesidades de lavado, estas pérdidas provocarían un lavado superior al necesario, con lo que el nivel de salinidad se mantendrá por debajo del mínimo. Si por el contrario, las pérdidas son menores que las necesidades de lavado, habrá que provocar voluntariamente una mayor percolación para evitar la salinización del suelo. El cálculo de  $(L)$  es complicado, además puede ser conveniente no cargar al riego todas las necesidades de lavado, permitiendo que la lluvia realice parte de esa mejora. Su estudio no forma parte de esta monografía. Un método de cálculo aproximado establece:

$$L = \frac{C_a}{2 \times C_e} \quad (1.8)$$

**Donde:**

$C_a$  .- Es la conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

$C_e$  .- Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (dS/m), valor que se impone como objetivo a conseguir con el lavado y que depende de los cultivos a beneficiar. La tabla 3 ofrece el comportamiento del potencial productivo en (%) de algunos cultivos a partir de  $C_e$  .

**TABLA 3.-** Productividad en (%) según  $C_e$  (dS/m), (Pizarro 1996).

| <b>Cultivos</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Toronja         | 100      | 97       | 81       | 65       | 48       | 32       | 16       | 0        |          |           |
| Limón           | 100      | 91       | 75       | 0        |          |          |          |          |          |           |
| Melocotón       | 100      | 94       | 73       | 52       | 31       | 10       | 0        |          |          |           |
| Piña            | 100      | 71       | 34       | 0        |          |          |          |          |          |           |
| Naranja         | 100      | 95       | 79       | 63       | 48       | 32       | 16       | 0        |          |           |
| Algodón         | 100      | 100      | 100      | 100      | 100      | 100      | 100      | 98       | 93       | 88        |

#### **I.4.- Conclusiones parciales.**

1. Las necesidades de agua de los cultivos beneficiados con técnicas de riego localizado son prácticamente iguales que con otros sistemas de riego. Donde se consiguen importantes ahorros de agua es en la aplicación en parcela, al disminuir las pérdidas por percolación y escorrentía.
2. Los cultivos se desarrollan satisfactoriamente aunque las raíces exploren solo una parte del suelo, cuya extensión debe ser como mínimo del 30 – 40 % del área sombreada. La competencia por la luz y las necesidades de espacios para las labores limitan la intensificación de los marcos de plantación.
3. Los rendimientos de los cultivos no responden a la técnica de riego en sí, más bien, al régimen de humedad en el suelo que estas propician y a las características del manejo del agua de riego.
4. La gran ventaja de los sistemas de riego por goteo se presenta en los suelos marginales, en los cuales es muy difícil y costoso alcanzar un adecuado régimen de humedad con métodos convencionales de riego.
5. Así como los riegos localizados permiten una mejor y más racional fertirrigación, su utilización en el caso de suelos salinos requiere con frecuencia de la utilización de técnicas de riego convencionales para aplicar lavados complementarios.

# **CAPÍTULO II**

## **MATERIALES Y**

### **MÉTODOS**



## II.1.- Caracterización del caso de estudio.

El área de estudio se ubica en el extremo Este de la Llanura del Cauto en la región oriental de Cuba, muy próxima a la margen izquierda del río Cauto, aguas abajo de la confluencia con el río Contramaestre (Fig. 1). Se localiza a 35 km al noreste de la ciudad de Bayamo, capital de la provincia Granma, en las coordenadas geográficas 20°31'25" de latitud norte y 76°20'24" de longitud oeste, con una altitud de 50 m.



Figura. 8 Foto satelital del área de estudio

## II.2.- Enfoque de cálculo. Variantes de diseño.

La influencia del diseño agronómico simplificado en los parámetros de explotación del riego localizado, se determinó a partir de la comparación de los resultados de dos variantes de cálculo en el diseño de sistemas de riego por goteo, para el beneficio de las plantaciones de cítricos que se prevén fomentar en áreas de la Empresa Agropecuaria "Jiguaní".

En la variante A se incorporaron las simplificaciones del diseño agronómico que más abajo se describen, se tomó un valor único del coeficiente de cultivo,  $K_c = 1.04$ , propuesto por la Tarea Técnica. En lugar del riesgo de salinidad considerado para estimar las necesidades totales de agua, se asumió el riesgo de pérdidas por percolación, considerando para ello una eficiencia de aplicación de 90 % (de acuerdo con la Tarea Técnica), de la misma forma se adoptó para la variante A, un

valor de evapotranspiración de referencia,  $ET_o = 3.95$  mm/día. Para garantizar la validez de la comparación a desarrollar en el Trabajo de Diploma, se previó la descripción de los componentes de la relación Agua – Suelo – Planta – Clima y de los agregados de riego teniendo en cuenta que los mismos sean preferiblemente comunes para las dos variantes.

Para estimar el coeficiente de localización del riego se utilizó la ecuación propuesta por Decroix – Cifreg para la variante A (orientado en la Tarea Técnica). La duración y la dosis de riego para la variante A se obtuvo utilizando el procedimiento alternativo que se emplea en las empresas de diseño (Tarea técnica). Por motivos diferentes, en ambas variantes no se tuvo en cuenta el coeficiente de variabilidad climática ( $K_{vc}$ ), para corregir las necesidades netas en el período de máxima demanda del cultivo.

La duración y la dosis de riego en la variante B se obtuvo a partir del procedimiento propuesto por Keller y Rodrigo, 1979, el resto de los parámetros se calcularon utilizando el mismo procedimiento. Como coeficiente de cultivo se utilizó para obtener las necesidades netas, el mayor de los tres valores de  $K_c$  ini,  $K_c$  med y  $K_c$  fin, los cuales se obtuvieron a partir del enfoque de Allen y Pereira (A&P).

De acuerdo con la práctica del diseño, la máxima conductividad eléctrica del extracto acuoso del suelo en la zona radicular,  $maxCE_{es}$ , que el cultivo tolera (100% de afectación del rendimiento potencial) se consideró igual a 2.5 dS/m. Dada la ausencia de datos confiables de radiación solar en estaciones agrometeorológicas cercanas, la evapotranspiración de referencia se calculó por el método del Evaporímetro de cubeta Clase A, a partir de las series de datos climáticos obtenidos de la estación agrometeorológica de Contramaestre, y sus valores fueron procesados estadísticamente para obtener el del 10% de probabilidad de sobrepaso,  $Ev_{10\%p} = 4.39$  mm, coeficiente de corrección de la cubeta ( $K_p = 0.9$ ).

En esta variante se utilizó el criterio de utilizar los cuatro procedimientos previstos en la literatura, desechando los resultados extremos y promediando los dos resultados intermedios, para estimar el valor ( $K_L$ ) definitivo.

### II.2.1.- Fuente de abasto.

El agua de riego se bombea desde la margen izquierda del río Contramaestre en un punto ubicado a 200 m, aguas arriba de la confluencia con el río Cauto. El agua se conduce a través de un canal magistral que abastece a los embalses reguladores, desde donde de rebombee para las parcelas de riego. Como medida de la salinidad del agua de riego se conoce que los valores de la conductividad eléctrica,  $CE_{ar}$ , varían desde 0.4 hasta 3.3 dS/m, su valor, para un 10% de probabilidad de sobrepaso (criterio idéntico que para la  $ET_c$ ), es 0.75 dS/m, que se obtuvo de la serie 1991-2019 de valores medidos entre los meses de enero y abril. La fuente de abasto se considera apta para el riego del cultivo propuesto, en las dos variantes.

### II.2.2.- Datos del Suelo.

Según el mapa de suelos de la República de Cuba, conforme con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (*WRB* por sus siglas en inglés), la superficie de riego es de 11 Ha, el suelo clasifica como *CalcaricFluvisol (FLca)*, de textura media.

Tabla 4.- Principales propiedades hidrofísicas del suelo.

|   |           |
|---|-----------|
| Capacidad de campo (% peso)                   | 18 – 26   |
| Coefficiente de marchitez permanente (% peso) | 10 – 14   |
| Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )        | 1.2 – 1.4 |

Grado de estratificación: entre homogéneo y estratificado; Profundidad: 0.75 – 1.5 m;  $CE_{es}$ : 2.5 dS/m; Pendiente suave y uniforme; Velocidad de infiltración: 18.91 mm/h.

### II.2.3.- Características del cultivo a beneficiar.

El cultivo a beneficiar es 'Naranja Valencia' (*Citrus paradisi* Macfad.), injertado sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), para árboles de 10 años de plantados.

**Tabla 5.- Características previstas del cultivo.**

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Marco de siembra (m x m)          | 8 x 4 |
| Diámetro medio de la copa (m)     | 4.6   |
| Altura media (m)                  | 4.0   |
| Profundidad de raíces activas (m) | 1.0   |

#### **II.2.4.- Datos climáticos.**

Del mapa mundial de clasificación climática de Köppen-Geiger, se obtuvo que en la zona existe un clima ecuatorial de sabana con invierno seco (Aw), y en el mapa de aridez de Cuba, se observó que en el área de estudio existe un régimen de aridez semihúmedo húmedo. Las principales variables climáticas se muestran seguidamente.

**Tabla 6.- Principales variables climáticas.**

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Lluvia media hiperanual (mm)       | 779         |
| Velocidad media del viento (m/s)   | 1.2 – 2.5   |
| Temperatura media mensual (°C)     | 22.3 – 26.5 |
| Humedad relativa media mensual (%) | 74.1 – 83.5 |

#### **II.2.5.- Agregados de riego.**

Tipo de emisor: Autocompensante.

Caudal del emisor, de presión trabajo: = 8 L/h.

Rango de compensación: 49 a 294 kPa

Presión de trabajo: 150 kPa

#### **II.3.- Datos básicos para el diseño.**

El tiempo de operación diario del sistema de riego se asumirá = 16 horas y la frecuencia de riego diaria, para ambas variantes, el área del marco de siembra = 32 m<sup>2</sup> (8 m entre hileras y 4 m entre plantas de una misma hilera). Se ha planificado además, instalar un lateral de riego por cada hilera de plantas. El riego se aplicará de Lunes a Sábado, el diámetro promedio de la copa del árbol = 4.6 m, se asume un coeficiente de advección ( $K_{ADV} = 1$ ), para las dos variantes. Para la Variante B, la evaporación ( $E_{V10\%P}$ ), correspondió al mes de Abril, la conductividad

eléctrica en el extracto de saturación del suelo ( $CE_{ES}$ ), se asumió de acuerdo con (Waller & Yitallew, 2016).

Tabla 7.- Datos básicos para el diseño agronómico.

| Var | Agua                     | Suelo  | Planta  | Clima   |
|-----|--------------------------|--|---|---|
| A   | Apta para el riego.      | Textura media<br>$C_C = 35.6\% P_{ss}$<br>$= 0.92 \text{ g/cm}^3$<br>$h = 1.0 \text{ m}$ | $MS = 8 \times 4$<br>$K_C = 1.04$<br>$W_C = 4.6 \text{ m}$<br>$P_{RAD} = 1 \text{ m}$                       | $ET_0 = 3.95 \text{ mm/d}$                                    |
|     |                          |  |   | $K_{VC} = 1$  |
| B   | $CE_{AR} = 0.75$<br>dS/m | $V_{INF} = 18.91 \text{ mm/h}$<br>$CE_{ES} = 2.5 \text{ dS/m (var B)}$                   | $MS = 8 \times 4$<br>$K_{CM} = 0.65$<br>$K_{CF} = 0.70$<br>$W_C = 4.6 \text{ m}$<br>$P_{RAD} = 1 \text{ m}$ | $EV_{10\%P} = 4.39 \text{ mm/d}$                              |
|     |                          |  |   | $V_V = 2.78 \text{ m/s}$<br>$K_p = 0.9$<br>$HR_{\min} = 45\%$ |

### II.3.1.- Procedimientos para el diseño agronómico.

#### (VARIANTE B)

1. Necesidades netas puntas [ $N_N$  (mm/d)].

$$N = E \times K \times K \times K \times K \quad (II.1)$$

Para obtener ( $K_L$ ) se siguió el criterio de la fracción del área sombreada por el cultivo, para la variante A se utilizó (2.2) y para la variante B, se promediaron los valores más cercanos.

$$K = 1.34 \times P \quad (II.2)$$

$$K = 0.1 + P \quad (II.3)$$

$$K = P + 0.5(1 - P) \quad (II.4)$$

$$K = P + 0.15(1 - P) \quad (II.5)$$

Donde:

$PC$ , es la fracción de área sombreada por el cultivo ( $m^2$ ) ( $\frac{A_P}{A_M} = \frac{A_C}{A_M} = \frac{S_P \times \phi_C}{A_M}$ ).

$A_{MP}$ .- Es el área del marco de plantación ( $m^2$ ).

$A_C$ .- Es el área de raíces activas ( $m^2$ ), se aplica en los casos de cultivos que no tienen copa definida y se determina gráficamente en función del marco de

plantación, la disposición de los emisores en relación con las plantas y el área humedecida por el emisor.

$A_{PV}$ .- Es el área de la proyección vertical de la copa del árbol medida a mediodía en el solsticio de verano ( $m^2$ ), se aplica en los casos de cultivos que tienen copa definida, su valor debe ser obtenido experimentalmente.

$S_p$ .- Separación entre plantas de una misma hilera (m).

$w_c$ .- Diámetro de la copa del árbol ( $m^2$ ), se aplica con las mismas especificaciones que ( $A_{PV}$ ).

## 2. Necesidades totales [NT (L/p/d)].

Tienen en cuenta las necesidades de lavado ( $LR$ ), la eficiencia de aplicación ( $E_{AP}$ ) el coeficiente de uniformidad ( $CU$ ), de los dos primeros parámetros se asumió para la variante B como el más exigente el riesgo de salinidad ( $K = 0.26$ ), para la Variante A el riesgo de pérdidas por percolación profunda ( $K = 0.1$ ), se asumió ( $CU = 90\%$ ) para las dos variantes:

$$N = \frac{N}{C \times (1-K)} \quad (II.6)$$

$$LR = \frac{CE_{ar}}{2 \max CE_{es}} \quad \max CE_{es} = 8 \text{ dS/m} \quad (II.7)$$

3. La siguiente expresión permite utilizar los resultados de la prueba de campo y de conjunto con las necesidades de agua de la planta constituyen el punto de partida del diseño.

$$0.9 \times p < p < 1.2 \times p \quad (II.8)$$

$P$  .- Profundidad a que se desarrolla el bulbo húmedo (m), o la franja de humedecimiento continuo según corresponda.

Esta fórmula establece unos límites a la profundidad del bulbo húmedo, de forma que para determinados valores de ( $p$ ) corresponden un número de emisores por planta y un porcentaje adecuado de superficie humedecida que garantiza que el área mojada por todos los emisores que riegan una misma planta sea mayor que las necesidades mínimas definidas por ( $P_{l \text{ } \acute{m}}$ ), para el ejemplo se asumió una profundidad radicular = 1.0 m. Una vez obtenidas la ( $N$ ), los resultados de la prueba de campo se acomodan en la tabla 8 que se muestra a continuación, para encontrar los parámetros más apropiados para tales exigencias. A partir de la

profundidad de ramificación densa del cultivo = 1.0 m se comprueba por medio (II.8), la profundidad que alcanza el bulbo de humedecimiento durante la prueba de campo, ya que a partir de estos valores se asume el radio húmedo que alcanza el gotero, así como el volumen de agua que entrega en esas condiciones. A partir del rango de profundidad establecido ( $p$ ) se puede estimar el área humedecida ( $A$ ) por éstos y la cantidad mínima ( $e$ ) de ellos, necesarios para garantizar el volumen de suelo humedecido.

**Tabla 8.-** Resultados de la prueba de campo. Pizarro (1996).

| $V$ (L)      | $R$ (m)     | $p$ (m)     |
|--------------|-------------|-------------|
| 18.36        | 0.4         | 0.5         |
| 24.48        | 0.54        | 0.63        |
| 30.6         | 0.76        | 0.69        |
| 32.72        | 0.8         | 0.9         |
| <b>35.24</b> | <b>0.83</b> | <b>1.05</b> |
| 38.96        | 0.86        | 1.22        |

4. Superficie humedecida por el emisor [ $A$  ( $m^2$ )].

Asumiendo una profundidad = 1.05 m, el radio que humedece el emisor = 0.83 m y el volumen que entrega = 35.24 L; la superficie humedecida por emisor se estima por:

$$A = \pi R^2 \quad (II.9)$$

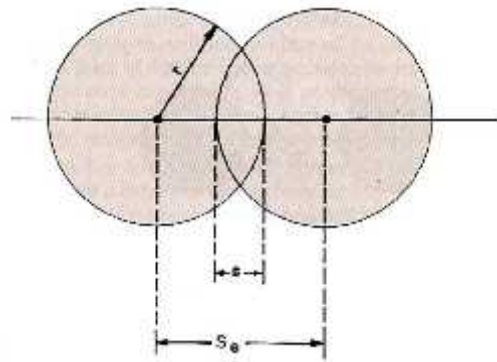
**Donde:**

$R$  .- Es el radio que humedece el gotero (m).

La separación entre emisores en el lateral [ $S$ , (m)] se puede obtener por medio de:

$$S = R \times \left(2 - \frac{a}{1}\right) \quad (II.10)$$

|                              |
|------------------------------|
| $s = \frac{a \times R}{100}$ |
| $a = \frac{s}{R} \times 100$ |



**Figura 9.-** Solape entre bulbos húmedos. Arapa (2002).

$\alpha$ .- Es el porcentaje de solapamiento entre los bulbos húmedos, su valor puede oscilar entre el 10 y el 30%, siempre que se cumpla la condición ( $S < \phi_b$ ). Cuando se trata de un número entero de emisores por planta, ( $S$ ) es generalmente asumido en función de la separación entre plantas de una misma hilera, ( $A$ ) permite determinar el número de emisores por planta necesarios para garantizar el porcentaje de humedecimiento mínimo (para el ejemplo  $P_{l \text{ ín}} = 33 \%$ ).

**Tabla 9.-** Porcentaje de humedecimiento mínimo, Rodrigo (1997).

| Autor           | Descripción              | $P_{l \text{ ín}}$               |
|-----------------|--------------------------|----------------------------------|
| Torralba (1990) | Cítricos y Frutales (B). | $25\% < P_{l \text{ ín}} < 35\%$ |
|                 | Plátano (B).             | $40\% < P_{l \text{ ín}} < 60\%$ |
|                 | Café (B).                | $30\% < P_{l \text{ ín}} < 40\%$ |
|                 | Cultivos hortícolas (B). | $70\% < P_{l \text{ ín}} < 50\%$ |
|                 | Hidropónicos y macetas   | 100 %                            |

(\*) Los porcentajes varían desde el valor inferior al superior al aumentar la aridez del clima, la ligereza en textura y pedregosidad del suelo.

5. Número de emisores que humedecen una misma planta.

$$e \geq \frac{A_M \times P_{l \text{ ín}}}{1 \times A} \quad (II.11)$$

Donde:

$A_M$  . - Área del marco de plantación ( $m^2$ ), para el ejemplo  $24 m^2$ .

$P_{l \text{ ín}}$  .- Porcentaje de humedecimiento mínimo.

Conviene comprobar que el volumen de agua previsto, satisface las necesidades de agua del cultivo y las de lavado La relación ( $e \times V = I \times N$ ) permite comprobar analíticamente este aspecto con la tabla 8.



6. Tiempo de riego [ $T$  (h)].

Como el volumen aplicado por el gotero ( $V$ ) debe ser ( $N$ ), la duración del riego se obtiene por:

$$T = \frac{N}{e \times q} \quad (\text{II.12})$$

Donde:

$q$  - caudal que entrega el emisor (4 L/h).

7. Dosis de riego [ $D$  (L)].

$$D = T \times e \times q . \quad (\text{II.13})$$

### **VERIFICACIÓN DE LA RESTRICCIÓN PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO**

$$D \geq N \geq P_i \quad (\text{II.10})$$

#### **(VARIANTE A)**

En esta variante, no se tiene en cuenta el análisis de los parámetros que consideran la forma y dimensiones de los bulbos de humedecimiento que se generan, tampoco su compatibilidad con las características del cultivo a beneficiar. El procedimiento de diseño tiene en cuenta los dos primeros pasos, pero a diferencia de la variante anterior, la dosis de riego se obtiene a partir del número de plantas por hilera y de las necesidades totales de agua de la planta. Luego a partir de la longitud del lateral y de la separación entre goteros, es posible conocer el caudal a entregar en toda la hilera de plantas. Con este parámetro y su volumen equivalente se encuentra la duración del riego que implique que este volumen sea mayor o igual que las necesidades totales de la planta ( $V \geq N$ ). En consecuencia el número de emisores necesarios para satisfacer las necesidades totales de agua de la planta, se estima proporcionalmente al volumen necesario para satisfacer las necesidades de agua a lo largo de la hilera de plantas, a partir del caudal nominal del emisor y el número de plantas en la hilera. Previendo entregar el "volumen de agua necesario para cada planta", en función de asumir la duración del riego conveniente para este propósito; contrario a como se ha establecido en la práctica del diseño, en la que la duración del riego se obtiene en función de las necesidades totales de agua, la relación suelo – planta y en consecuencia el caudal instalado por planta. En esta variante, la duración y la frecuencia de riego se asumen a conveniencia de la explotación, previendo que ( $D \geq N$ ) en cada

lateral. Las necesidades de agua de la planta no se mantienen iguales a la Variante B.

Como la dosis definitiva y la duración del riego se obtienen a partir del número de plantas a lo largo de la hilera y de las necesidades totales de agua de cada una de estas, la longitud que alcanzará el lateral y la separación entre goteros a lo largo del mismo son parámetros importantes a considerar en el diseño (este último debe ser un dato a aportar en la Tarea Técnica, a partir de ellos es posible conocer el caudal que se entrega a toda la hilera de plantas. Esta variante se ha generalizado en las Empresas de Consultoría y Diseño ante las dificultades prácticas de realizar las pruebas de campo de forma oportuna.

#### II.4.1.-Resultados.

| PARÁMETROS          |                           | VARIANTE<br>A | VARIANTE<br>B |
|---------------------|---------------------------|---------------|---------------|
| Necesidades Netas   | [N <sub>N</sub> ; (mm/d)] | 2.75          | 3.16          |
| Necesidades Totales | [N <sub>T</sub> ; (mm/d)] | 3.39          | 4.183         |
| No. Emisores/planta | [e; (U)]                  | 5             | 5             |
| Frecuencia de riego | [I <sub>R</sub> ; (d)]    | 1 día         | 1 día         |
| Duración del riego  | [T <sub>R</sub> ; (h)]    | 2.73h         | 3.75h         |
| Dosis de riego      | [D <sub>R</sub> ; (mm/d)] | 3.41L         | 4.68L         |

#### II.4.2.- Análisis.

Las necesidades de agua en la variante B resultaron superiores aproximadamente en un 13% que la variante A, en esta última se ha diseñado una instalación probablemente con menor costo de inversión inicial, pero limitada agrónomicamente y por lo tanto con restricciones para funcionar en condiciones más exigentes.

En la misma se tuvo en cuenta el criterio de Decroix, citado por (Pizarro, 1996), para estimar el coeficiente de localización del riego ( $K_L = 0.67$ ), en lugar de utilizar el valor promedio de los resultados más próximos, como en la variante B en la cual ( $K_L = 0.71$ ); el coeficiente de cultivo se tomó ( $K_C = 1.04$ ) por sugerencias del inversionista y no tuvo en cuenta para su estimación, el procedimiento propuesto por (Allen *et al.*, 1998) y tampoco las propuestas más actualizadas (Allen y Pereira, 2009) y más recientemente Pereira et al. (2021), citadas por (Kaddiel & the gan, 2021), estos últimos investigadores obtuvieron ( $K_C = 1.12$ ), para las

condiciones específicas del área de estudio y árboles altos sembrados con alta densidad de plantación.

En la variante A, el valor probable de la evapotranspiración de referencia más crítica escogida para el diseño ( $E_{to} = 3.95$  mm/d), no se obtuvo a partir de un procedimiento estadístico para el análisis de los datos, su ajuste se realizó asumiendo el coeficiente de corrección por variabilidad climática ( $K_{VC} = 1.2$ ). Esto conllevó a que las necesidades netas estimadas para el período de máxima demanda del cultivo, ( $N_N = 2.75$  mm/d), en lugar de ( $N_N = 4.18$  mm/d) de la variante B que resultó un valor más flexible ante posibles condiciones climáticas y operacionales más exigentes.

Con relación a las necesidades totales, la práctica ha demostrado, que en no pocos casos, las dificultades para acceder a datos indicativos de contenidos peligrosos de sales en el agua de riego o en el extracto acuoso del suelo, conllevan a utilizar como único criterio, el de incrementar ( $N_N$ ) en una fracción equivalente a la eficiencia de riego para prever posibles pérdidas de agua por percolación profunda, tal y como se concibe en el diseño de sistemas de riego convencionales, cuestión esta que se justifica en suelos muy permeables con una elevada velocidad de infiltración, unido al hecho de que los volúmenes de agua de riego aplicados en cada dosis son superiores a los que se aplican en los sistemas de riego localizados de alta frecuencia.

En la variante A, las necesidades de lavado no son tenidas en cuenta y ( $N_T$ ) es incrementado a partir de la eficiencia de aplicación ( $E_{AP} = 90\%$ ) y con ello, el denominador en la ecuación (3) resulta = 81% (similar a los riegos convencionales) Contrariamente en la variante B, ( $N_T$ ) se incrementa con una fracción para el lavado, obtenida a partir de la conductividad eléctrica del agua de riego ( $CE_{AR} = 0.75$  dS/m) y en el extracto de saturación del suelo ( $CE_{ES} = 2.5$  dS/m).

En ambas variantes el porcentaje de superficie humedecida supera el mínimo previsto, a pesar de ello, lo que interesa en realidad es el volumen de raíces humedecido, cuestión que no se logra debido al inconveniente práctico de realizar pruebas de campo previo al diseño de las instalaciones, impidiendo asegurar este

objetivo durante la etapa de diseño. No obstante, ya está comprobado que el volumen de suelo humedecido debajo de los emisores es superior al que se acumula en la superficie.

Durante el diseño agronómico de sistemas de riego por goteo, es importante asegurar una correcta distribución de los patrones de humedad a lo largo de la hilera de plantas; esta cuestión es muy útil para verificar el porcentaje de humedecimiento real ( $PH_R$ ) y el número de emisores que humedecen una misma planta ( $e$ ).

Esto que supuestamente queda resuelto al garantizar una superficie mínima humedecida del área vital de la planta, puede conllevar a aplicar volúmenes de agua superiores a las necesidades totales, ya que como se ha especificado anteriormente, debajo de éstas, el volumen de raíces humedecido es mucho mayor al estar concentradas en la zona húmeda y de esta forma la aplicación del riego podría resultar más costosa cuando la superficie humedecida es exageradamente mayor.

Por otro lado tampoco es posible asegurar durante el diseño, que el contenido de humedad debajo de las plantas sea igual o ligeramente superior que el correspondiente a la humedad equivalente del suelo, de no resultar así, existiría una disminución de los rendimientos y de la rentabilidad de la instalación.

Resumiendo, estas consideraciones, es válido asegurar que la no realización de las pruebas de campo infiere otra simplificación del diseño que puede conllevar a modificar los parámetros de explotación de las instalaciones. De acuerdo con (Dorta y Vargas, 2018) citado por (Vargas *et al.*, 2021), esta situación es más agravante en las técnicas de riego localizado que utilizan el suelo para aplicar el agua a las plantas (como son las técnicas de riego por goteo y exudación).

En la variante A, la duración del riego es 2.75 h, y las unidades rotacionales podrán beneficiar más parcelas que en la variante B, en la cual se necesitan 3.75 horas para aplicar la dosis necesaria. Esto que en principio parecería una ventaja de la variante A, podría no resultar igual cuando se concibe el esquema hidráulico de la instalación y la posterior etapa de diseño hidráulico; ya que asimilar esa ventaja implicaría mayores longitudes y diámetros de tuberías para poder llevar el

agua hasta las parcelas ubicadas en los extremos de la instalación, las pérdidas de energía serían igualmente superiores y por lo tanto también lo serán la presión necesaria en la estación de control y la potencia necesaria en la instalación de bombeo.

Por ello si en los párrafos iniciales de este análisis parecía una instalación probablemente con menor costo de inversión inicial, luego resulta que no es definitivo, pues en función del esquema hidráulico concebido para irrigar determinada superficie, lo que pueda representar un ahorro en la etapa de diseño agronómico puede resultar lo contrario en la etapa del diseño hidráulico de la instalación. Y aún continuaría siendo una instalación agronómicamente restringida y con limitaciones para funcionar en condiciones más exigentes.

## **Conclusiones finales**

1. La falta de rigor en la adquisición y la utilización de los datos básicos para realizar el diseño agronómico de sistemas de riego por goteo, conlleva a instalaciones con limitaciones para funcionar en condiciones más exigentes.
2. Una de las simplificaciones más generalizadas de procedimiento de diseño agronómico, es la relacionada con las necesidades de lavado, no tener en cuenta este parámetro puede provocar la acumulación peligrosa de sales en la solución del suelo, la disminución de los rendimientos del cultivo y el posterior deterioro de las propiedades productivas del suelo.
3. La aplicación de simplificaciones en la etapa del diseño agronómico de la instalación, no conduce necesariamente a esquemas hidráulicos más flexibles y económicos, y los parámetros de bombeo pueden resultar más exigentes.
4. A pesar de que el volumen de raíces humedecido tiende a ser suficiente cuando la superficie humedecida por el emisor supera el mínimo establecido, las pruebas de campo también pueden resultar pertinentes en los sistemas de riego por microaspersión, ya que permiten verificar el contenido de humedad debajo de los emisores y el radio de humedecimiento realmente efectivo de éstos.

## **Recomendaciones.**

1. Realizar investigaciones similares para comparar el comportamiento de los parámetros analizados en el caso de cultivos con marco de siembra estrecho como las pequeñas hortalizas en las que generalmente se humedece una franja de humedecimiento continuo.
2. Incluir en la comparación el diseño hidráulico de la instalación para valorar la tendencia que implica la utilización de estas simplificaciones en el diseño completa de la instalación.
3. Realizar la comparación para otras técnicas de riego incluidas en el método de riego localizado.

## Referencias Bibliográficas.

1. Allen *et al.* “*Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*”. FAO Irrigation and Drainage Study No. 56, ROME, 302 p, (1998).
2. Dorta, Abel. Vargas, Pavel.“ Determinación del bulbo húmedo en Riego por Succión. Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico. Universidad de Oriente. (2017).
3. Dóricos del Rio, Pedro Luis, (2012). Los recursos hídricos en Cuba: una visión estratégica. Cuba.
4. F. Pizarro C., Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Goteo, microaspersión, exudación, 3ra ed., Madrid: Mundi-Prensa, 1996, p. 513.
5. Hernández Abreu. “Riego Localizado”. Curso Internacional de Riego Localizado en Tenerife, España.(1990).
6. J. Rodrigo L., J. M. Hernández A., A. Pérez R. y J. F. González H., Riego Localizado, 2da ed., Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Mundi-Prensa, 1997, p. 405.
7. Keller, J y Rodrigo, J. (1979): Trickle irrigation lateral design. ASAE Technical Paper. No. 79- 2.570. USA. 26p.
8. Keller, J. B. (1987). Sprinkler and Trickle irrigation. New York: EEUU.
9. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación gobierno de España
10. Prins, K., Kay, M., Heibloem, M., Hoevenaars, J., Brouwer, C. (1992): “Irrigation Methods. Irrigation Water Management”. Estudio FAO Riego y Drenaje. Training Manual No. 5, ROMA, 1992, 66 p.
11. Vargas, R. P., Dorta, A.A., Fernández, H. K.: Consideraciones para el diseño racional de sistemas de riego por goteo. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Cuba. 27 (2): E – ISSN – 2071 – 0054. 2021.
12. Vargas, R. P., Pacheco, M. R., Dorta, A. A.: Water apply and distribution systems for drip irrigation as guarantee of rational use of water face to climatic chance study case. MedCrave: Fluid Mechanics Research International Journal. Volume 2 Issue 5 –p. 211 – 217 2018.
13. Vargas, R. P., Jockic, M. A., Dorta, A. A., Álvarez, A. R.: Consideraciones para el diseño de Sistemas de riego por goteo y microaspersión. Monografía de Compilación (Texto en preparación). 2020.
14. Pennunzio, A. (2010). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, microjet y pulsadores. Argentina: Buenos Aires.
15. Veliz, R. (2007). Revisión bibliográfica sobre la microaspersión. Universidad de Ciego de Ávila: Cuba: Trabajo de Investigación en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnica.
16. Dueñas, García R., Assenov, Mondadjiev D., Alonso, Rodríguez N. (1981). El Riego. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.



Mujica C., A.; *et al.* (1990). Primer Curso de Proyecto para Sistemas de Riego Localizado. Ciego de Ávila: UNICA.