

Diseño y cálculo de un sistema de riego por goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha de cultivos orgánicos en El Zamorano, Honduras

Cristian Paúl Cevallos Zambrano

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Diseño y cálculo de un sistema de riego por
goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha
de cultivos orgánicos en El Zamorano,
Honduras**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
Al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Cristian Paúl Cevallos Zambrano

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2008

Diseño y cálculo de un sistema de riego por goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha de cultivos orgánicos en El Zamorano, Honduras

Presentado por

Cristian Paúl Cevallos Zambrano

Aprobado:

Francisco Álvarez, M.A.E.
Asesor Principal

Miguel Vélez, Ph. D.
Director Carrera de Ciencia y
Producción Agropecuaria.

Ulises Barahona, Ing. Agr.
Asesor

Raúl Espinal, Ph. D.
Decano Académico

Abelino Pitty, Ph. D.
Coordinador del Área de Fitotecnia

Kenneth L. Hoadley, D. B. A.
Rector

RESUMEN

Cevallos, Cristian. 2008. Diseño y cálculo de un sistema de riego por goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha de cultivos orgánicos en El Zamorano, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 40p.

El objetivo del estudio fue diseñar un sistema de riego adaptado a las necesidades hídricas de los cultivos hortícolas producidos en Zamorano, haciendo un uso eficiente del agua y mejorando las condiciones para educación, investigación y producción. El estudio se llevó a cabo en El Zamorano a una altura de 800 msnm, una precipitación anual promedio de 1084 mm y una temperatura anual promedio de 23.4 °C. Se realizaron aforos en la microcuenca de Santa Inés y la quebrada El Gallo. Para calcular la ETo se usaron los datos climatológicos realizando un promedio de cinco años. Se elaboró un mapa por texturas del suelo y se realizaron pruebas de infiltración y curvas de retención de humedad; se analizaron parámetros como profundidad de raíces, porcentaje de agua permisible, época de siembra y etapas de crecimiento de los cultivos, para elegir el cultivo con el que se calcularon las necesidades hídricas. La tubería se seleccionó según los requerimientos de presión y caudal; las pérdidas de presión generados por fricción en la tubería se calcularon con la ecuación de Hazen&Williams. Se diseñaron sistemas independientes para el área de producción orgánica y el área de horticultura. El sistema de riego para el área de horticultura es totalmente automatizado y está adaptado para sembrar hortalizas. Se diseñaron lotes de 0.5 ha con doble cinta de goteo con un caudal de 0.51 L/h/gotero, espaciamiento entre goteros 0.2 m, entre cintas 0.2 m y entre hileras de 1.5 m, a una presión de 10 psi, cubriendo dos lotes por turno para lo cual se requiere un caudal de 38.6 m³/h que es impulsado por dos bombas centrífugas de 4.5 hp. El sistema tendrá un costo total de \$63,919 y es factible ya que el proyecto presenta un VAN de 100,783 y una TIR de 353%. El sistema de riego para el área de producción orgánica esta adaptada para la producción de hortalizas y papaya; se diseñaron lotes de 0.25 ha con doble cinta de goteo con un caudal de 0.51 L/h/gotero, espaciamiento entre goteros 0.2 m, entre cintas 0.2 m y entre camas 1.5 m, a una presión de 10 psi y para el cultivo de papaya dos goteros de botones por planta de 4 L/h/gotero. El sistema es capaz de regar dos lotes de forma simultánea requiriendo un caudal de 17 m³/h que es impulsado por dos bombas de 2.5 hp. El sistema tendrá un costo total de \$14,150 y es factible ya que el proyecto presenta un VAN de 3,857 y una TIR de 0.43%.

Palabras Clave: Carga dinámica total, coeficiente del cultivo (Kc), evapotranspiración (ETc).

ABSTRACT

Cevallos, Cristian. 2008. Design and calculation of a drip irrigation system for 32 crops and 5 organic cultivars in El Zamorano, Honduras. Graduation Project of the Agricultural Engineering, Zamorano, Honduras. 40p.

The goal of the study was to design an irrigation system that met the water needs of the crops production in El Zamorano, making an efficient use of water in order meet the needs of education, research and production. The study was hold in El Zamorano, Honduras, which is located at 800 m above the sea level and has an average temperature of 23.4 °C. Measurements of water flow were made at the main watersheds, Santa Inés and El Gallo. A five year date base of wealth was used to calculate ETo. Infiltration test and water retention curves were made according to soil textures identified; root depth, available water in soil, planting dates, and growth stages were also considerate. Pipe sizing was determined based on pressure and flow needed; friction losses were calculated with the Hazen&Williams equation. Two independent systems were designed, one for conventional production (32 ha) and one for organic production (5 ha). The 32 ha is fully automatzed and s fit to meet horticulture needs. The standard field size in this system is 0.5 ha with double dripline with a flow of 0.51 L/h/dripper, drippers spaced at 0.2 m between them and 1.5 m between rows. With pressure of the drip lines is 10 psi and two 0.5 hectares fields are irrigating per turn; the flow need is 38.6 m³/h , driven bye two centrifugal pumps of 4.5 hp each. The cost of the system is \$ 63,919 and it's feasible because the project presents a 100,783 NPV and a 353% IRR. The 5 ha system is fit for horticultural production and papaya; subfields are sized to 0.25 each, double drip line with a flow of 0.51 L/h/dripper, drip spaced at 0,2 m between them and 1.5 m between rows. Working pressure is 10 psi. For the papaya crop, two push button drippers will be used with, flow at 4L/h/dripper. The systems is capable at irrigation two 0.25 ha fields at once, with a 17 m³/h flow impulsed by two 2.5 hp pumps. The system will cost \$ 14,150 and it's feasible because the project presents a 3,857 NPV and a 0.43% IRR.

Key words: Crop coefficient (Kc), evapotranspiration (ETc), total dynamic charge.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Contenido.....	v
Índice de Cuadros, Figuras, Anexos.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1	ETo de los cultivos de acuerdo a la duración de cada una de sus etapas..... 7
2	Kc por etapa inicial; duración de las etapas: profundidad radicular máxima y agotamiento permisible para diferentes cultivos hortícolas..... 8
3	Área y porcentaje del área total que representan las diferentes familias texturales..... 14
4	Infiltración básica (IB) para diferentes unidades texturales de suelo y estructura del suelo..... 15
5	Capacidad de retención de humedad de diferentes unidades de suelo, entre CC (0.316 Atm) y PMP(15.524 Atm)..... 16
6	Cálculo de la ETc considerando la ETo de acuerdo a la época de siembra y para cada etapa de crecimiento del cultivo..... 17
7	Cálculo del porcentaje de agua permisible ajustada (ρ_{aj}) con base en el ETc de cada etapa de crecimiento del cultivo..... 17
8	Demanda hídrica del cultivo por etapa de crecimiento y ciclo..... 18
9	Comparación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz dulce..... 18
10	Cálculo de operación del sistema..... 19
11	Pérdidas de presión por fricción y diferencia de altura considerando la dinámica del fluido a lo largo de cada una de las secciones de tubería hasta llegar al punto más crítico del sistema de producción hortícola..... 23
12	Pérdidas de presión por fricción en los accesorios de la tubería principal y secundaria para el punto más crítico del sistema de producción hortícola..... 23
13	Pérdida de presión generada por fricción en los accesorios del control de válvula del lote 1..... 25
14	Cálculo de la carga dinámica total (CDT) para horticultura, expresado en libras por pulgada cuadrada (psi)..... 25
15	Pérdidas de presión por fricción y diferencia de altura considerando la dinámica del fluido a lo largo de cada una de las secciones de tubería hasta llegar al punto más crítico del sistema de producción orgánica..... 25
16	Pérdidas de presión por fricción en los accesorios de la tubería principal y secundaria para el punto más crítico del sistema de producción orgánica..... 26
17	Pérdida de presión generada por fricción en los accesorios del control de válvula del lote 16..... 28
18	Cálculo de la carga dinámica total (CDT) para horticultura, expresado en libras por pulgada cuadrada (psi)..... 28
19	Presupuesto para cada uno de los sistemas de riego..... 29
20	Flujo de efectivo para el diseño del área de producción hortícola..... 30
21	Flujo de efectivo para el diseño del área de producción orgánica..... 31

Figura		Página
1	Ubicación de la barrenaciones de Zona 2.....	4
2	Ubicación de las pruebas de infiltración básica.....	5
3	Ubicación de las curvas de retención de humedad.....	5
4	Distribución de la tubería en el área de producción hortícola.....	21
5	Distribución de la tubería en el área de producción orgánica.....	22
6	Tramos para el cálculo de la CDT para el área de horticultura.....	24
7	Tramos para el cálculo de la CDT para el área de producción orgánica...	27
Anexo		
1	Fuentes y distribución de agua.....	35
2	Fecha de siembra para el año 2009 en el área de hortalizas.....	35
3	Área de cada uno de los lotes del área de horticultura.....	36
4	Área de cada uno de los lotes del área de producción orgánica.....	36
5	Pérdidas de presión por fricción y diferencia altimétrica hasta a la válvula de cada para el área de producción hortícola.....	37
6	Pérdidas de presión por fricción y diferencia altimétrica hasta la válvula de cada lote para el área de producción orgánica.....	37
7	Presupuesto materiales del sistema del área de producción hortícola.....	38
8	Presupuesto materiales del sistema del área de producción orgánica.....	39
9	Accesorios del control de válvulas para el área de producción hortícola..	40
10	Accesorios del control de válvulas para el área de producción orgánica...	40
10	Tipos de control de válvulas.....	41

INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas de riego es una alternativa que permite mejorar la producción en países donde las precipitaciones anuales no cubren las necesidades biológicas del cultivo o están mal distribuidas a lo largo del año. Mejorar el desarrollo sostenible y la gestión de agua para uso agrícola son dos factores que influirán al momento de satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos, mejorar la seguridad alimenticia y combatir la pobreza. (FAO 2005).

Cada año los agricultores buscan mejorar la forma en que suministran agua a su cultivo tratando de ser lo más eficientes posible. Para optimizar este recurso, es necesario considerar todas las pérdidas que se pueden dar en su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas. (Vélez 2005)

La productividad de las tierras bajo riego es aproximadamente tres veces superior a las de secano (FAO 2005). Un agricultor que opta por un sistema de riego, puede producir durante la época en la que las precipitaciones son escasas o nulas, lo que estabiliza y aumenta su producción durante el año.

En la actualidad, los sistemas de riego más utilizados para la agricultura son los de aspersión, micro aspersión y goteo. Los primeros sistemas que salieron al mercado son los de aspersión, sin embargo están siendo reemplazados por sistemas de riego localizados como son los de micro aspersión y goteo. Esto se debe a que los sistemas de aspersión cubren un área del 100%, lo que genera un desperdicio de agua en ciertos cultivos, como frutales y hortalizas, que no necesitan un 100% de área bajo riego para satisfacer sus necesidades hídricas.

Los sistemas de riego localizado presentan grandes ventajas en lo que es aprovechamiento de agua y uniformidad en la lámina de agua aplicada. Un claro ejemplo de esto se observó en un proyecto realizado por la FAO, en Cabo Verde, en donde se introdujo un sistema de riego por goteo con el cual se logró aumentar la producción agrícola de la isla, de 5 700 toneladas en 1991 a 17000 toneladas en 1999. Ahora, más del 20% de la superficie del país ha optado por este sistema (FAO 2005).

Los sistemas de riego por goteo, además de ser eficientes en el uso de agua, favorecen el manejo del cultivo ya que a través de este se puede realizar prácticas de fertirrigación así como permitir el uso de agua reciclada. En cultivos hortícolas reduce problemas fitosanitarios ya que las hojas no son expuestas al contacto con el agua. Los sistemas de goteo se adaptan muy bien a cultivos bajo cubierta o cuyas camas van cubiertas por plástico.

Zona 2 es un área dedicada a la producción de hortalizas, está dividida en un área de producción convencional (horticultura) de 32 ha y un área de producción orgánica de 5 ha. Actualmente cuenta con un sistema de riego que proporciona agua al área de horticultura y producción orgánica. El sistema tiene una tubería principal de seis pulgadas instalada hace 16 años y posteriormente se ha ido incorporando tubería de poliducto para incrementar el área de producción. Posee dos lagunas de almacenamiento, de las cuales sólo una es utilizada y tiene una capacidad de aproximadamente 6,900 m³. La laguna es alimentada por la microcuenta de Santa Inés y la quebrada El Gallo. De la microcuenta de Santa Inés el agua es transportada hasta la laguna de San Nicolás que tiene una capacidad de almacenar 40,000 m³. La microcuenta de Santa Inés o la laguna de San Nicolás alimentan a la laguna de Okeechobee que puede almacenar 8,000 m³, de Okeechobee el agua es bombeada hasta la laguna de Zona 2. La quebrada de El Gallo es una fuente temporal de junio a febrero y es captada mediante una zanja la cual desvía el agua hacia las lagunas de El Carbonal, y se moviliza por medio de un canal de piedra hasta llegar a Zona 2 (Anexo 1).

La distribución de lotes actual puede ser una limitante para las labores de producción e investigación que se realizarán en el área de horticultura. Ambas áreas comparten algunos componentes del sistema de riego como sistema de bombeo, sistema de filtrado y parte de la tubería, lo que puede ocasionar problemas con las certificaciones que posee el área de producción orgánica.

Para cubrir las demandas hídricas del cultivo de cebolla, el volumen de agua aplicado es de 88 m³ en intervalos de dos días, utilizando tres cintas de gotero por cama con un caudal de 0.4 L/s por cada emisor. El distanciamiento entre goteros es de 0.15 m y entre camas 1.8 m. Suponiendo que la evapotranspiración del cultivo en su etapa de media sea de 6.23 mm/día el volumen de agua necesario es de 42 m³, por lo que se deduce que la eficiencia del sistema de riego actual podría ser de 48%.

El objetivo del estudio fase diseñar y calcular un sistema de riego que se adapte a las necesidades hídricas de los cultivos, aplicando una lámina de riego lo más uniforme posible, para facilitar las proyecciones de educación, investigación y producción, del área hortícola y producción de cultivos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El proyecto se realizó en el área de producción hortícola y cultivos orgánicos, en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, ubicada en el valle del río Yeguaré, al Este de Tegucigalpa, Honduras a una altura de 800 msnm. El promedio anual de temperatura es de 23.4°C; la precipitación de 1084.5 mm; la radiación 403.2 cal/cm²; la velocidad del viento de 1.9 m/s y la humedad relativa de 75.2%.

Fuente de agua

El aforo se realizó de diciembre a mayo de 2007-2008, que representan la época seca del año. Se utilizó el método indirecto de aforo con un molinete o escorrentímetro. Las fuentes de agua que se aforaron fueron la microcuenca Santa Inés y la quebrada El Gallo. Se midió el volumen de las lagunas de San Nicolás, Okeechobee y Zona 2.

Para el aforo de la quebrada El Gallo, el agua se desvió por un canal de tierra hasta un reservorio. Se uniformizaron 10 m del canal con una forma rectangular y se aforó en la mitad de tramo. En Santa Inés se aforó la microcuenca y la descarga de la tubería que transporta el agua de Santa Inés a la laguna San Nicolás. La capacidad de la bomba, que impulsa el agua de Okeechobee hacia los reservorios del área de orgánica y horticultura, es de aproximadamente 68 m³/h.

Medición del terreno y levantamiento topográfico

El área y perímetro del terreno se determinaron con un sistema de posicionamiento global (GPS) de alta precisión. Para obtener la cota altimétrica se tomaron puntos con el GPS cada 50 m, realizando una cuadrícula de 50×50 m a lo largo de toda la superficie. Los puntos se ingresaron en el programa ArcView, para realizar los mapas. Se utilizó la extensión Surface para elaborar las curvas a nivel, diferenciadas a un metro de altura.

Textura y estructura

Para la determinación de la textura se realizaron barrenaciones a 75×75 m (Figura 1) a una profundidad máxima de 1 m. Se texturó de forma manual cada 0.30 m de suelo. Los resultados se ordenaron y clasificaron según familias texturales.

La estructura es un factor que influye en la infiltración básica del suelo, sin embargo, esta varía en cada época de siembra según las prácticas de mecanización. Por este motivo los análisis de estructura y pruebas de infiltración se realizaron en el mismo lugar y tiempo.

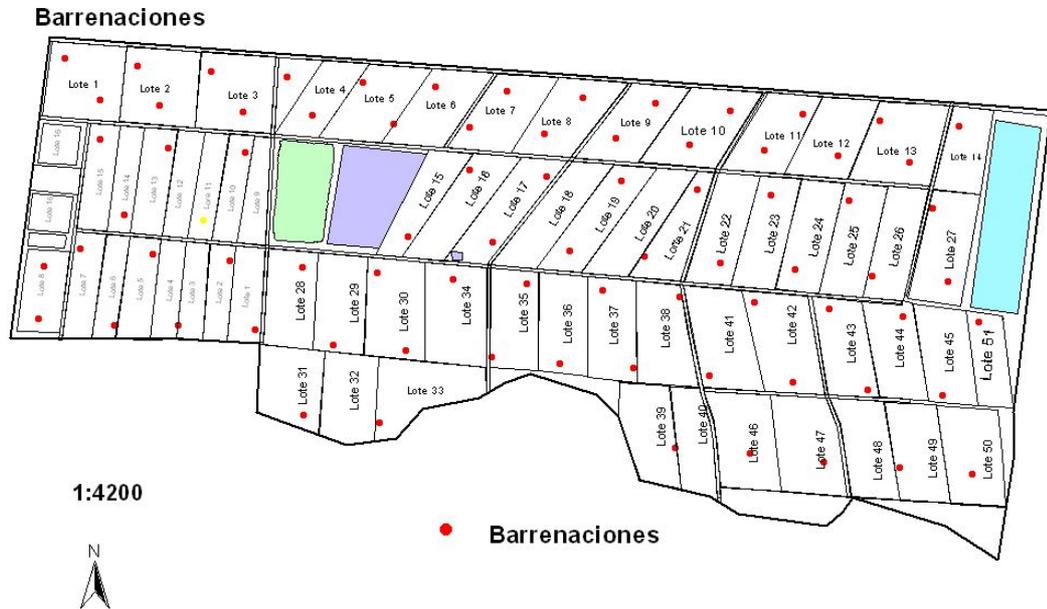


Figura 1. Ubicación de la barrenaciones de Zona 2, El Zamorano, Honduras.

Pruebas de infiltración

Las pruebas se realizaron en mayo y fueron ubicadas de acuerdo a las unidades texturales de suelo (Figura 2). Para la medición de la infiltración básica se utilizó el método del cilindro infiltrómetro, que consiste en un juego de dos cilindros metálicos de diámetros diferentes, ubicados el uno dentro del otro. Se realizaron dos pruebas por cada unidad textural de suelo; en lotes con camas se ubicó un juego de cilindros en la cama y otro en el surco, con el fin de comparar los dos resultados.

Antes de vertir agua en el cilindro de inferior, se colocó una bolsa plástica en la base del cilindro para no alterar las condiciones físicas del suelo. Se marcó la altura que alcanzó el agua en el cilindro de diámetro inferior, la cual sirvió como referencia para medir la diferencia de altura a lo largo de la prueba. La bolsa plástica se retiró al momento empezar a tomar las lecturas, las cuales se tomaron a los 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 180 y 240 minutos. Los datos se tabularon y analizaron en Excel, para obtener la infiltración básica, instantánea y acumulada, con las cuales se determinó el diámetro del bulbo de humedecimiento del gotero y se hizo una comparación entre la precipitación horaria del sistema y la infiltración básica.

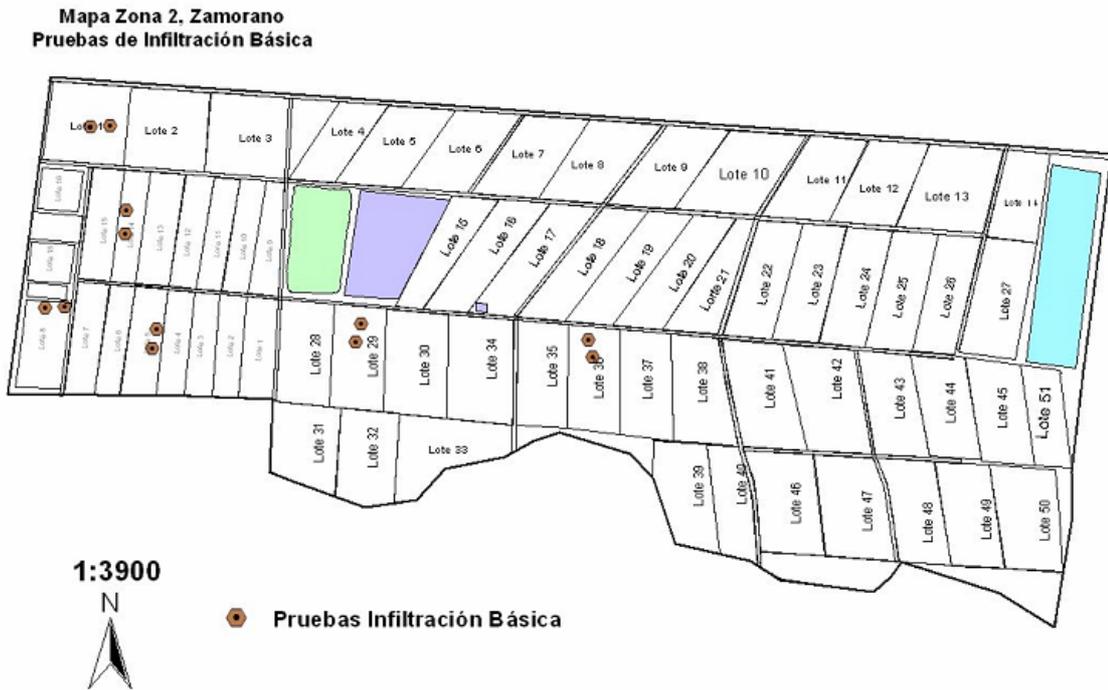


Figura 2. Ubicación de las pruebas de infiltración básica en Zona 2, El Zamorano, Honduras

Curvas de retención de humedad

La ubicación de los puntos donde se realizó la extracción de muestras no disturbadas, se determinó con base en las unidades texturales del suelo (Figura 3). Las muestras se extrajeron con cilindros de ocho centímetros de altura y ocho centímetros de diámetro. Se tomó una muestra por cada horizonte en los primeros 50 cm de suelo. Los cilindros se insertaron en medio de cada horizonte sin alterar las condiciones físicas. Las muestras se analizaron en el laboratorio del Centro de Entrenamiento y Desarrollo Agrícola (CEDA), Comayagua.



Figura 3. Ubicación de las curvas de retención de humedad en Zona 2, El Zamorano, Honduras.

Clima

Los datos climatológicos se obtuvieron de la estación meteorológica automatizada ubicada en Zona I, en la Escuela Agrícola Panamericana. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o) se utilizó el método de Penman-Monteith propuesto por la Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO) y de un promedio de cinco años (2003-2008). También se calculó un promedio dependiendo de las fechas de siembra o transplante y etapas de crecimiento de cada cultivo.

Cultivo

Se hizo una lista de los cultivos y la fecha de siembra (Anexo 2). Para los cálculos de requerimientos hídricos de los cultivos se evaluaron los cultivos de cebolla, frijol, maíz dulce, papa, camote y lechuga ya que debido a su época de siembra, la etapa de mediados del cultivo coincide con los valores de ET_o más altos (Cuadro 1).

La evapotranspiración del cultivo se calculó según las fechas de siembra o transplante y las etapas de crecimiento de cada cultivo utilizando la fórmula:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET_o = Evapotranspiración potencial (mm/día)

K_c = coeficiente del cultivo

El K_c varía de acuerdo al desarrollo del cultivo por lo que se consideraron las cuatro etapas de crecimiento propuestas por la FAO. La etapa inicial comprende desde la siembra o transplante hasta que la vegetación cubre aproximadamente 10% de la superficie del suelo. El periodo de desarrollo del cultivo inicia cuando la superficie del suelo está cubierta en un 10% hasta alcanzar la cobertura efectiva completa. La fase de mediados de cultivo comprende desde la cobertura efectiva completa hasta inicios de la madurez. La etapa de final de cultivo abarca el periodo entre comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha. La duración de cada etapa varía según el cultivo. El K_c para la etapa de desarrollo se calculó mediante un promedio del K_c inicial y el K_c de mediados de cultivo y el K_c para la etapa de finales de cultivo con un promedio entre el K_c de mediados de cultivo y el K_c final (Cuadro 2).

Se tomó en cuenta la profundidad de las raíces y el porcentaje de agua permisible para el cálculo de la lámina de agua aprovechada (Cuadro 2). Los valores de agua permisible fueron ajustados según recomendaciones de la FAO, de acuerdo a la ET_c en cada etapa de crecimiento del cultivo.

Cuadro 1. ETo (mm/día) de los cultivos de acuerdo a la duración de cada una de sus etapas.

Cultivo	Duración de etapa				Días ciclo	ETo (mm/día)			
	Inicial	Desarrollo	Media	Final		I [†]	D ^º	Media	Final
Cebolla	Ene 01 Ene 12	Ene 13 Feb 05	Feb 06 Abr 01	Abr 01 May 04	120	3.73	3.81	4.58	5.23
Frijol	Ene 01 Ene 25	Ene 26 Feb 19	Feb 20 Mar 21	Mar 22 Abr 11	100	3.80	4.06	4.63	4.84
Maíz dulce	Feb 20 Mar 11	Mar 12 Abr 11	Abr 12 May 12	May 13 May 23	90	4.17	4.61	5.40	5.33
Papa	Dic 15 Ene 04	Ene 05 Feb 04	Feb 05 Abr 06	Abr 07 May 07	115	3.63	3.80	4.57	5.28
Chile	Ene 01 Ene 30	Ene 31 Mar 06	Mar 07 Abr 16	Abr 17 May 07	125	3.78	4.36	4.81	5.34
Lechuga	Abr 25 May 04	Abr 25 May 04	May 05 May 12	May 13 May 18	35	5.38	5.46	5.23	5.26
Papaya	Jun 01 Ago 23	Ago 24 Sep23	Sep 25 Feb 25	Feb 26 Jun 26	380	3.93	4.18	3.70	4.73

Fuente. Estación meteorológica de Zona 1, El Zamorano, Honduras.

[†] Etapa de inicio del cultivo.

^º Etapa de desarrollo del cultivo.

Cuadro 2. Kc por etapa inicial; duración de las etapas: profundidad radicular máxima (Prof. radicular max.) y agotamiento permisible para diferentes cultivos hortícolas.

Cultivo	Kc			Duración Etapa (días)				Prof. radicular max. (m)	Agotamiento permisible
	Inicial	Mediados	Final	Inicial	Desarrollo	Mediados	Final		
Zanahoria	0.70	1.05	0.95	20	30	30	20	0.5-1.0	0.35
Lechuga	0.70	1.00	0.95	9	14	7	5	0.3-0.5	0.30
Cebolla	0.70	1.10	1.00	12	20	56	32	0.3-0.6	0.30
Papa	0.50	1.15	0.75	18	27	30	15	0.4-0.6	0.35
Frijol	0.50	1.05	0.90	25	25	30	15	0.5-0.7	0.45
Habichuela	0.50	0.78	0.90	15	25	25	10	0.5-0.7	0.45
Maíz dulce	0.70	1.15	1.05	10	30	30	10	0.8-1.2	0.50
Berenjenas	0.60	1.05	0.90	25	30	30	15	0.7-1.2	0.45
Brócoli	0.70	1.05	0.95	23	30	27	10	0.4-0.6	0.45
Camote	0.50	1.15	0.65	16	32	54	32	1.0-1.5	0.65
Chile dulce	0.60	1.05	0.90	24	28	32	16	0.5-1.0	0.30
Chile jalapeño	0.60	1.05	0.90	24	28	32	16	0.5-1.0	0.30
Coliflor	0.70	1.05	0.95	21	30	25	9	0.4-0.7	0.45
Fresas	0.40	1.15	0.50	20	30	35	20	0.2-0.3	0.20
Melón	0.50	1.05	0.75	18	27	30	15	0.8-1.5	0.40
Pepinos	0.60	1.00	0.75	13	19	20	13	0.7-1.2	0.50
Remolacha	0.60	1.00	0.75	15	25	20	10	0.6-1.0	0.50
Repollo	0.70	1.05	0.75	21	30	35	9	0.5-0.8	0.45
Sandía	0.40	1.00	0.75	12	24	24	35	0.8-1.5	0.40
Calabaza	0.60	1.00	0.80	20	30	30	20	1.0-1.5	0.35
Espinaca	0.70	1.00	0.95	20	20	15	5	0.3-0.5	0.20
Tomates	0.60	1.15	0.90	22	30	30	18	0.7-1.5	0.40
Zapallo	0.60	0.95	0.70	20	30	25	15	0.6-1.0	0.50
Papaya ^ψ	0.64	1.16	1.19	84	23	153	120	1.0-1.5	

Fuente FAO, Evapotranspiración de los cultivos. ^ψ Montenegro, A.; Bezerra, F. y De Lima, A.2004. Evapotranspiration and crop coefficients of papaya in the coastal region of Ceará stata, Brazil. Engenharia Agrícola Journal.

Cálculo y diseño del sistema de riego

Lotes

Se diseñaron sistemas independientes para el área de horticultura y el área de producción orgánica. El área de horticultura se dividió en lotes de 0.5 ha y el área de productos orgánicos en lotes de 0.25 ha para facilitar la operación del sistema y las prácticas agrícolas enfocadas a educación, investigación y producción.

Cálculo de las necesidades hídricas

El cálculo de necesidades hídricas se realizó con base en el cultivo de maíz que es el que demanda mayor cantidad de agua de forma instantánea.

La evapotranspiración del cultivo (ETc) es la cantidad de agua que se pierde por transpiración y evaporación y se calculó con la fórmula:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo = Evapotranspiración del potencial (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo.

El porcentaje de agua disponible (AD) se obtuvo de los análisis de las curvas de retención de humedad realizados por el laboratorio del CEDA, y representa el porcentaje de agua retenido entre 0.3 atm. y 15.5 atm y se calculó con la fórmula:

$$AD = CC - PMP$$

Donde:

AD = Porcentaje de agua disponible.

CC = Porcentaje de agua a capacidad de campo (0.3 atm).

PMP = Porcentaje de agua en el punto de marchitez permanente (15.5 atm).

El agua disponible a profundidad radicular (ADzr) es la lámina de agua que se encuentra al nivel donde existe la mayor concentración de raíces. Las raíces de la mayoría de los cultivos alcanzan fácilmente profundidades mayores de 0.5 m (Cuadro 1), sin embargo por las limitantes de suelo, se tomó como profundidad efectiva de raíces 0.4 m. La ADzr se calculó con la fórmula:

$$ADzr = AD \times 10 \times zr$$

Donde:

ADzr = agua disponible a profundidad radicular (mm)

AD = porcentaje de agua disponible

zr = profundidad efectiva de raíces (m)

El porcentaje máximo de agua aprovechable (AA) es la cantidad de agua que se puede agotar sin causar un estrés hídrico a la planta; se obtuvo de valores propuestos por la FAO (Cuadro 1) y se adaptaron a los valores de ETc de cada cultivo presentes en el área. Se adaptó con la siguiente fórmula:

$$\rho_{aj} = \rho + 0.04 \times (5 - ETc)$$

Donde:

ρ_{aj} = porcentaje de agua permisible ajustado.

ρ = porcentaje de agua permisible a un ETc = 5mm/día

ETc = Evapotranspiración del cultivo mm/día.

La lámina de agua aprovechable a nivel radicular (LAzr), es la lámina que se repone en cada intervalo de riego.

$$LAzr = ADzr \times AA$$

Donde:

LAzr = Lámina de agua aprovechable a nivel radicular (mm)

ADzr = Agua disponible a nivel radicular (mm)

AA = Máximo porcentaje de agua aprovechable

El diámetro del bulbo humedecido se refiere a la dimensión que alcanzará el bulbo generado por las gotas de agua provenientes del gotero, el cual está condicionado por la estructura y textura del suelo, así como por el caudal del gotero y el tiempo de riego. Se calculó con la siguiente fórmula:

$$d = (q_e / 0.785 \times IB)^{1/2}$$

Donde:

d = diámetro del bulbo humedecido (m)

q_e = caudal del emisor (L/h)

IB = Infiltración básica (mm/h)

El porcentaje de área bajo riego (PAR) representa la relación entre el área humedecida y el área total bajo riego expresada en porcentaje. Dependiendo del área que se desea humedecer y del tamaño del bulbo humedecido, se eligió el número de cintas de goteros que se ubicarán por cada cama.

El PAR para camas con una sola cinta de goteo o goteros independientes se calculó con la fórmula:

$$PAR = (\pi \times r^2 / d_e \times d_l) \times 100$$

Donde:

PAR = porcentaje de área bajo riego

r = radio del bulbo humedecido (m)

d_e = distancia entre emisores (m)

d_l = distancia entre laterales (m)

Para camas con dos cintas de goteo se utilizó la fórmula:

$$PAR = (r_1 \times r_2 \times \pi / de \times dc) \times 100$$

Donde:

$r_1 \times r_2 \times \pi$ = área de la elipse generada por el traslape de goteros entre las dos cintas de goteo (m^2)

r_1 = radio menor de la elipse (m)

r_2 = radio mayor de la elipse (m)

de = distancia entre emisores de la cinta de goteo (m)

dc = distancia entre camas (m)

La precipitación horaria del sistema (Phr), es la lámina de agua que precipita en una hora.

$$Phr = \text{No emisores por ha} \times qe / 100 \times PAR$$

Donde:

Phr = Precipitación horaria del sistema (mm/h)

qe = caudal del emisor (L/h)

PAR = Porcentaje de área bajo riego.

El intervalo de riego (I_r), es el tiempo entre dos riegos sucesivos.

$$I_r = LAzr / ETc$$

Donde:

I_r = Intervalo de riego (días)

LAzr = Lámina de agua aprovechable a nivel radicular (mm)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Se ajusta hacia abajo en caso de que resulte un número decimal (I_r aj)

Lámina de riego ajustada (LR_{aj}). Es la lámina que debemos reponer después de un riego.

$$LR_{aj} = I_r \text{ aj} \times ETc$$

Donde:

LR_{aj} = Lámina de riego ajustada (mm)

I_r aj = Intervalo de riego ajustado (días)

ETc = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Lámina bruta (LB). Es la lámina que se va a aplicar considerando la eficiencia del sistema de riego.

$$LB = LR_{aj} \times 10 / \text{eficiencia del sistema}$$

Donde:

LB = Lámina bruta (mm)

LR_{aj} = Lámina de riego ajustada (mm)

Eficiencia del sistema = se consideró una eficiencia del 90%.

Horas de riego por turno (Ht). Son las horas que dura el turno de riego para reponer la LAzr y se calculó con la fórmula:

$$Ht = LB / Phr$$

Donde:

Ht = horas de riego por turno (h)

LB = Lámina bruta (mm)

Phr = Precipitación horaria del sistema (mm/h)

El máximo número de turnos de riego diarios (Td). Son los turnos de riego que se pueden hacer por día. Se consideró un máximo de seis horas de operación para regar un área de 12 ha en horticultura, y cuatro horas para regar 4 ha en el área de cultivos orgánicos. Se calculó con la fórmula:

$$Td = Hm / Ht$$

Donde:

Td = máximo número de turnos diarios

Hm = horas de riego máximas al día (h)

Ht = horas de riego por turno.

El volumen de riego bruto por hectárea (VB), es el volumen de agua que se debe aplicar por hectárea.

$$VB = LB \times PAR / 100$$

Donde:

VB = Volumen de riego bruta (m³/ha)

LB = Lámina bruta (mm)

PAR = porcentaje de área bajo riego

Superficie bajo riego por turno (Sr). Es el área que se riega por cada turno.

Sr = área bajo riego/ No riegos por ciclo

Sr = superficie bajo riego (ha)

Volumen de riego bruto por turno (VBt). Es el volumen de agua que se va a utilizar para regar el área de un turno.

$$VBt = Sr \times DR$$

Donde:

VBt = Volumen de riego por turno (m³/turno)

Sr = superficie de bajo riego por turno (ha)

Vr = Volumen de riego por turno (m³/ha)

Caudal requerido (Qr). Es el caudal que se necesita para que el sistema de riego funcione.

$$Q_r = V_{Bt} \times H_t$$

Donde:

Q_r = Caudal requerido (m^3/h)

V_{Bt} = Volumen de riego por turno ($m^3/turno$)

H_t = horas de riego por turno (h)

Cálculo y diseño de las tuberías

La tubería se seleccionó según los requerimientos de presión y caudal. Se seleccionaron diámetros múltiples, basado en el método de velocidad máxima, escogiendo diámetros tan pequeños como sea posible siempre y cuando la velocidad del agua en la tubería no supere 1.52 m/s.

Las pérdidas de presión generadas por fricción a lo largo de la tubería se calcularon con la ecuación de Hazen&Williams y la equivalencia de las pérdidas por accesorios a metros de tubería se obtuvieron con las tablas proporcionadas por Berkeley.

Para la carga dinámica total se consideraron las pérdidas por fricción en accesorios y tuberías y la diferencia entre cotas altimétricas. El tipo de tubería que se utilizó fue PVC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fuente de agua

En la época seca la microcuenca de Santa Inés tiene un caudal promedio de 270 m³/h, de los cuales se desvían aproximadamente 118.8 m³/h, hacia la laguna de San Nicolás, la cual alimenta la laguna de Okeechobee. De la laguna de Okeechobee se presuriza el agua para llevarla a Zona 2. La capacidad de la bomba, que impulsa el agua desde la laguna de Okeechobee a los reservorios de Zona 2, es de 68 m³/h. La quebrada El Gallo abastece agua durante los primeros meses del año, pero en la época más crítica, que se da a finales de mayo, la entrada de agua es mínima o nula. Por este motivo para el diseño se consideró el volumen de agua que se descarga en la laguna de San Nicolás.

EL volumen de agua disponible por semana es de 19,968 m³ de los cuales se utilizan 16,956 m³ para riego en otras áreas de Zamorano. El agua disponible por semana para Zona 2 será de 3012 m³.

Textura y estructura del suelo

Después de clasificar el suelo por familias texturales se obtuvieron las siguientes agrupaciones de suelo: F-/F+, F-/Gg, F-/Gg/Gg, F-/F+/F+, M/M, M/Gg/Gg, M/Gg/F-. Para el cálculo del agua disponible se consideraron las familias F-/F+, F-/F+/F+ y F-/Gg/Gg que representan el 67% del área total (Cuadro 3).

Cuadro 3. Área y porcentaje del área total que representan las diferentes familias texturales.

Textura	Área (ha)	Porcentaje del Área Total (%)
F-/F+	8.3	24
F-/Gg	2.0	6
F-/Gg/Gg	5.8	17
F-/F+/F+	8.8	26
M/M	3.3	10
M/Gg/Gg	3.8	11
M/Gg/F-	2.5	7

M = Texturas francas (franco limosos, franco arenoso y franco); F- = Franco arcilloso franco arcillo limoso franco arcillo arenoso franco arcilloso, con menos del 35% de arcilla; F+ = Arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso, franco arcilloso con mas del 35% de arcilla; g = Arena y arena gruesa.

Infiltración básica (IB)

La infiltración básica medida en Zona 2 indica que el agua no tiene problema para ingresar al suelo en lugares mecanizados aunque varía según la textura y estructura del suelo. Para el cálculo del bulbo húmedo se utilizó la IB de 15 mm/h que representa el 17% del área y fue la IB más baja de las pruebas realizadas sobre las camas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Infiltración Básica (IB) para diferentes unidades texturales de suelo y estructura del suelo, en Zona 2, El Zamorano, Honduras.

Unidad de suelo	Cilindro	Estructura	IB (mm/h)
F-/F+	A ^ψ	Bloques angulares medianos a gruesos	86
	B ^ψ	Bloques angulares medianos a gruesos	49
M/Gg/Gg	A ^ε	Bloques angulares finos y gruesos	42
	B ^β	Masiva	8
F-/F+//F+	A ^ψ	Granular grueso	33
	B ^ψ	Granular grueso	31
M/M	A ^ψ	Granular y bloques angulares finos y gruesos	23
	B ^ψ	Masiva	2
F-/Gg/Gg	A ^ε	Granular fino	15
	B ^β	Granular muy fino y fino	3
M/Gg/F-/	A ^Ω	Masiva	3
	B ^Ω	Masiva	3

^ΩSuelo sin preparar; ^ψSuelos mecanizados; ^εPrueba realizada en cama; ^βPrueba realizada en surco; M = Texturas francas (franco limosos, franco arenoso y franco); F- = Franco arcilloso franco arcillo limoso franco arcillo arenoso franco arcilloso, con menos del 35% de arcilla; F+ = Arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso, franco arcilloso con mas del 35% de arcilla; g = Arena y arena gruesa.

Retención de humedad

Para el diseño se utilizó un porcentaje de agua disponible (AD) de 11%, el se obtuvo de un promedio entre los suelos F-/F+//F+, F-/F+ y F-/Gg/Gg que representan el 67% del área de Zona 2. Los valores de agua disponible se obtuvieron de una diferencia entre el porcentaje de humedad a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) (Cuadro 5)

Cuadro 5. Capacidad de retención de humedad de diferentes unidades de suelo, entre capacidad de campo (CC 0.316 Atm) y punto de marchitez permanente (PMP 15.524 Atm).

Textura	Calicata	H ^o	Profundidad	Retención de Humedad (%)		AD ^Ψ
				CC	PMP	
F-/F+	1	A	0.00-0.15	29.8	17.5	12.3
		B	0.15-0.29	40.8	30.1	10.7
		C	0.29-0.50	49.5	40.8	8.7
F-/Gg	2	A	0.00-0.18	26.3	16.9	9.4
F-/Gg/Gg	3	A	0.00-0.38	28.4	17.9	10.5
		B	0.38-0.50	24.9	15.7	9.2
F-/F+//F+	4	A	0.00-0.16	24.1	13.9	10.2
		B	0.16-0.18	23.9	15.7	8.2
		C	0.28-0.47	19.1	11.3	7.8
M/M	5	A	0.00-0.18	29.1	18.2	10.9
		B	0.18-0.50	25.4	16.5	8.9
M/Gg/Gg	6	A	0.00-0.43	27.0	16.3	10.7
		B	0.43-0.50	27.0	17.0	10.0
M/Gg/F-	7	A	0.00-0.20	35.2	22.5	12.7
		B	0.20-0.40	25.1	15.1	10.0

^Ψ Porcentaje de agua disponible; ^oHorizonte; M = Texturas francas (franco limosos, franco arenoso y franco); F- = Franco arcilloso franco arcillo limoso franco arcillo arenoso franco arcilloso, con menos del 35% de arcilla; F+ = Arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso, franco arcilloso con mas del 35% de arcilla; g = Arena y arena gruesa.

Cultivo

La ETc más alta se presentó para el cultivo de maíz en la etapa de mediados de cultivos (Cuadro 6) que coincidió con los meses de abril y mayo, en los cuales los valores de ETo son altos (Cuadro 2). Se permitió un porcentaje de pérdida de agua de 29% (Cuadro 7) ya que este es el factor limitante para el cultivo de lechuga.

Los cultivos de cebolla, maíz dulce, papa, frijol y chile dulce presentan un Kc alto en la etapa media y se cultivan de enero a mayo cuando se presentan los valores más altos de ETo (Cuadros 6). Estos cultivos se analizaron para determinar cual presenta la ETc más alta y cual demanda más agua en cada etapa de crecimiento y ciclo del cultivo (Cuadro 8).

Cuadro 6. Cálculo de la ETc considerando la ETo de acuerdo a la época de siembra y para cada etapa de crecimiento del cultivo.

Cultivo	ETo (mm/día)				Kc				ETc (mm/día)			
	Inicial	D ^τ	M ^ο	Final	Inicial	D ^β	M.	Final ^ψ	Inicial	Des.	Media.	Final
Cebolla	3.7	3.8	4.5	5.2	0.70	0.90	1.10	0.93	2.6	3.4	5.0	4.8
Frijol	3.8	4.0	4.6	4.8	0.40	0.78	1.15	0.75	1.5	3.1	5.3	3.6
Maíz dulce	4.1	4.6	5.4	5.3	0.70	0.93	1.15	1.10	2.9	4.2	6.2	5.8
Papa	3.6	3.8	4.5	5.2	0.50	0.83	1.15	0.95	1.8	3.1	5.2	5.0
Chile	3.7	4.3	4.8	5.3	0.60	0.83	1.05	0.98	2.2	3.5	5.0	5.2
Lechuga	5.3	5.4	5.2	5.2	0.70	0.85	1.00	0.97	3.7	4.6	5.2	5.1
Papaya	3.9	4.1	3.7	4.7	0.64	0.90	1.16	1.17	2.5	3.7	4.2	5.5

^β Etapa de desarrollo del cultivo. Promedio del Kc de la etapa inicial y mediados de cultivo del cuadro 2.

^ψ Etapa de final del cultivo. Promedio del Kc de la etapa de mediados y final del cuadro 2.

^τ ETo para la etapa de desarrollo del cultivo.

^ο ETo para la etapa de mediados de cultivo.

Cuadro 7. Cálculo del porcentaje de agua permisible ajustada (ρ_{aj}) con base en el ETc de cada etapa de crecimiento del cultivo.

Cultivo	ETc (mm/día)				Agotamiento permisible para ET=5mm/día (ρ)	ρ_{aj} β			
	Inicial	Desarrollo	Mediados	Final		Inicial	Desarrollo	Mediados	Final
Cebolla	2.61	3.43	5.04	4.84	30	40	36	30	31
Frijol	1.52	3.14	5.33	3.63	50	59	52	44	50
Maíz dulce	2.92	4.27	6.21	5.87	50	58	53	45	47
Papa	1.82	3.14	5.26	5.02	35	48	42	34	35
Chile	2.27	3.59	5.05	5.20	30	41	36	30	29
Lechuga	3.77	4.64	5.23	5.10	30	35	31	29	30

$\beta \rho_{aj} = \rho + 0.04 \times (5 - ETc)$

Cuadro 8. Demanda hídrica del cultivo por etapa de crecimiento y ciclo.

Cultivo	ETc (mm/día)				Lámina de riego por etapa (mm)				
	Inicial	D ^º	M ^º	Final	Inicial	D	M	Final	Total
Cebolla	2.6	3.4	5.0	4.8	35	76	313	172	596
Frijol	1.5	3.1	5.3	3.6	42	87	178	61	368
Maíz Dulce	2.9	4.2	6.2	5.8	32	142	207	65	447
Papa	1.8	3.1	5.2	5.0	36	94	175	84	389
Chile	2.2	3.5	5.0	5.2	61	112	180	93	444
Lechuga	3.7	4.6	5.2	5.1	38	72	41	28	179
Papaya	2.5	3.7	4.2	5.5	235	96	729	738	1798

^º Etapa de desarrollo del cultivo; ^º Etapa de mediados del cultivo

El maíz es el cultivo que mayor cantidad de agua demanda de forma instantánea (Cuadro 6), por lo que el diseño y cálculo de tuberías se hizo con base en el volumen de agua que se moviliza para este cultivo. La lámina de agua que se puede agotar sin causar estrés hídrico a la planta es de 12.7 mm (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz dulce.

Necesidad hídrica	Horticultura	Orgánica
	Maíz dulce	Maíz dulce
CLIMA		
ETo (mm/día)	5.4	5.4
PLANTA		
Kc	1.15	1.15
ETc (mm/día)	6.2	6.2
SUELO		
Área bajo riego (ha)	12	4
Agua disponible (%)	11	11
Zr (m)	0.4	0.4
Lamina de agua disponible en zr (mm/0.4 m)	44	44
% de agua aprovechable del cultivo	29	29
Lámina de agua aprovechable en zr (mm)	12.7	12.7

Con base en las necesidades hídricas del cultivo se calculó la operación del sistema. Para facilitar la investigación, operación del sistema y prácticas agrícolas se diseñaron lotes de 0.5 ha para el área de horticultura y de 0.25 ha para el área de agricultura orgánica. El maíz se sembrará en camas a una distancia de 0.3 m, el área que se va a humedecer es de 21.6% del área total bajo riego, para cubrir esta área se utilizó doble cinta de goteros por cama separadas 0.2 cm entre cintas y con un caudal de 0.51 L/h/gotero. El caudal requerido para cubrir la demanda hídrica del maíz para una hectárea es de 33.3 m³/h (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cálculo de operación del sistema.

Operación del sistema	Horticultura	Orgánica
	Maíz Dulce	Maíz Dulce
Área bajo riego por válvula	0.50	0.25
Máximas horas de operación	6	4
Distanciamiento entre emisores (m)	0.2	0.2
Distanciamiento entre cintas (m)	0.2	0.2
Distanciamiento entre camas (m)	1.5	1.5
Infiltración básica (mm/h)	15	15
Diámetro efectivo del bulbo húmedo (m)	0.21	0.21
Porcentaje de área bajo riego	21.6	21.6
Intervalo de riego (días)	2.1	2.1
Días de paro por ciclo	0	0
Intervalo de riego ajustado (días)	2	2
Ciclo de riego	2	2
Lámina de riego ajustada (mm)	12.4	12.4
Eficiencia (%)	90	90
Lámina bruta (mm)	13.8	13.8
Volumen bruto (m ³ /h)	29.8	29.8
Precipitación horaria	15.4	15.4
Horas de riego por turno	0.89	0.89
Máximo número de turno de riego diarios	6	4
horas de riego por día (h)	5.3	3.5
horas de riego por ciclo	10.7	7.1
Número de turnos por ciclo	12	8
Superficie bajo riego por turno (ha/turno)	1	0.5
No válvulas/turno	2	2
Volumen de riego bruto por turno (m ³ /h)	29.8	14.9
Caudal requerido (m ³ /h)	33.3	16.6

Para los cálculos de pérdidas de presión generadas por fricción se utilizó un caudal de 38.6 m³/h para horticultura y 18.3 m³/h para el área de producción orgánica, ya que se consideró un turno de riego para los lotes más grandes de cada área (Anexo 3 y 4).

Descripción del sistema de riego

Diseño del área de horticultura

El sistema capta agua de la laguna de Zona 2 y está adaptado para regar cultivos hortícolas utilizando doble cinta separada a 0.2 m, con un distanciamiento entre goteros de 0.2 m, un distanciamiento entre camas de 1.5 m y un caudal de 0.5 L/h/gotero. El área de cada lote es de 0.5 ha.

El sistema es completamente automatizado y consta de dos bombas eléctricas instaladas en serie de cinco caballos de fuerza cada una. Si las bombas trabajan de forma simultánea pueden impulsar 38.6 m³/h a una carga dinámica total (CDT) de 49.2 psi con lo que logra regar 1.16 ha, que representa el área de los dos lotes más grandes. El objetivo de las bombas en serie es minimizar los costos de energía cuando se riega un solo lote.

La tubería principal (SDR 26) tiene un diámetro de 4" de 84 m de longitud y la tubería secundaria (SDR 32.5) de 4" de 1,759 m que distribuye agua a los manifold de 51 lotes (Figura 5). El sistema cuenta con un filtro de arena y dos filtros de anillas en serie capaces de filtrar 38.6 m³/h; el sistema de inyección es parte del panel de control automatizado que está instalado en el cabezal de riego.

Diseño del área de producción orgánica

El sistema capta agua de la laguna de Zona 2 y está adaptado para regar cultivos hortícolas utilizando doble cinta separada a 0.2 m, con un distanciamiento entre goteros de 0.2 m, un distanciamiento entre camas de 1.5 m y un caudal de 0.5 L/h/gotero. El sistema también está adaptado para regar el cultivo de papaya para lo cual cuenta con maguera ciega, con dos goteros de 4 L/h/gotero por planta separados a 0.40 m, con un distanciamiento entre plantas de 1.5 m y entre hileras de 2.5 m. El área de cada lote es de 0.25 ha.

El sistema consta de dos bombas eléctricas instaladas en serie de 2.5 caballos de fuerza cada una. Si las bombas trabajan de forma simultánea tienen la capacidad de impulsar 19.3 m³/h con una CDT de 39.4 psi con lo que logra regar 0.6 ha, que representa el área de los dos lotes más grandes.

La tubería principal está dividida en dos tramos: el primero (SDR 26) tiene un diámetro de 3" de 20 m de longitud y el segundo (SDR 32.5) tiene un diámetro de 3" de 280 m que distribuye el agua a los manifold; la tubería secundaria (SDR 32.5) tiene un diámetro de 2" con una longitud de 20 m que distribuye agua a los manifold de los lotes 8 y 16 (Figura 6). El sistema cuenta con un filtro de arena y dos filtros de anillas en serie capaces de filtrar 19.3 m³/h y un sistema de inyección por venturi instalado en el cabezal de riego.

Mapa Zona 2
Área de Horticultura
Distribución tubería principal y secundaria

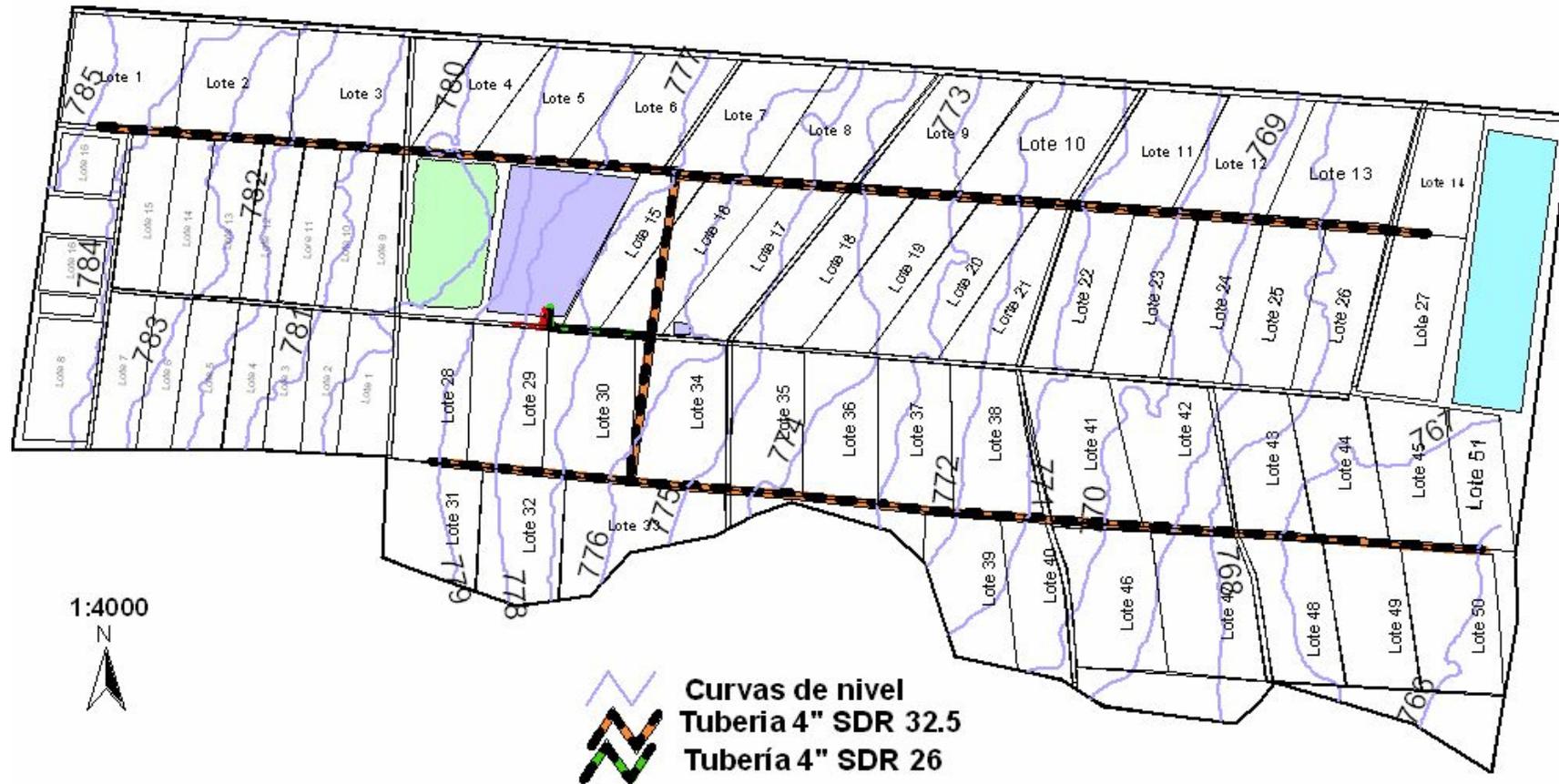


Figura 4. Distribución de la tubería en el área de producción hortícola.

Mapa Zona 2
Área de producción orgánica
Distribución de tubería

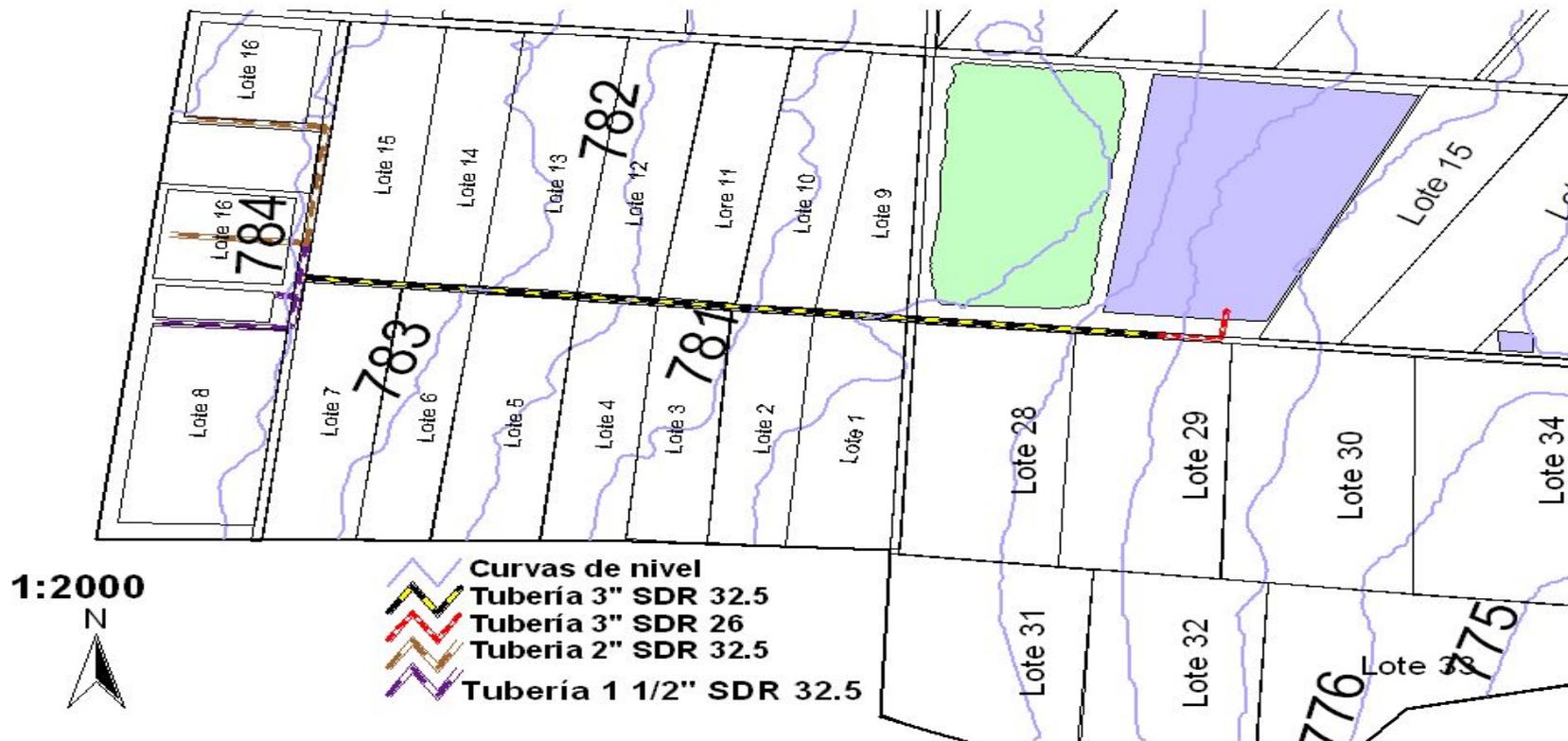


Figura 5. Distribución de la tubería en el área de producción orgánica.

Cálculo y diseño de la tubería

Cálculo de la carga dinámica total (CDT) para el área de horticultura

Se hizo una comparación de las pérdidas de presión para cada uno de los lotes y se determinó que el lote 1 es el punto más crítico del sistema (Anexo 5). Se consideraron las pérdidas de presión por fricción en la tubería principal, secundaria y manifold (Cuadro 11 y figura 7), en los accesorios de la tubería (Cuadro 12), en el control de válvula (Cuadro 13) y por la diferencia de la cota altimétrica (Cuadro 11).

Cuadro 11. Pérdidas de presión por fricción (hf/L) y diferencia de altura (ΔA) considerando la dinámica del fluido a lo largo de cada una de las secciones de tubería hasta llegar al punto más crítico (lote 1) del sistema de producción hortícola.

Tramo	Diámetro Interno (pulg ^φ)	Longitud (m)	Caudal (m ³ /h)	V ^ψ (m/s)	hf/L (psi [§])	ΔA (psi)
Bomba - A	4.15	84	38.6	1.2	1.7	-1.4
A-lote 2	4.22	417	38.6	1.1	8.0	9.2
Lote 2-lote 1	4.22	85	19.3	0.6	0.4	2.1
Lote 1-monifold lote 1	1.78	38	9.6	1.6	3.7	1.4

^ψ Velocidad; ^φPulgada (1 pulg = 0.254 m) [§]Libra por pulgada cuadrada (0.0209 psi = 1 Pa)

Cuadro 12. Pérdidas de presión por fricción en los accesorios (hf/L) de la tubería principal y secundaria para el punto más crítico del sistema de producción hortícola.

Accesorios	Canti. [‡]	Diámetro Interno (pulg)	Long. Total ^φ (ft ^Ω)	Caudal (m ³ /h)	V ^ω (m/s)	hf/L (psi)
Tamo Bomba - A						
Codo 90	1	4.15	6.9	38.6	1.2	0.04
Tee	1	4.15	21.9	38.6	1.2	0.14
Tramo A - Lote 1						
Codo 90	1	4.15	6.9	38.6	1.2	0.04
Tee	1	4.15	21.9	38.6	1.2	0.14

[‡]Cantidad; ^φ Longitud total; ^ωvelocidad; ^ΩPie(1ft = 0.3048 m)

El traslado de agua de la tubería secundaria al minifold de los lotes se hace mediante el control de válvulas, en la cual va instalada la válvula que permite o impide la entrada de agua. Para el área de horticultura se diseño tres tipos de control de válvula (anexo 10). El tipo dos es para los lotes: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 46, 47, 48 y 49, el tipo tres para las válvulas ubicadas en la tubería secundaria y el tipo uno para el resto de lotes.

Mapa Zona 2
Área de Horticultura
Carga Dinámica Total

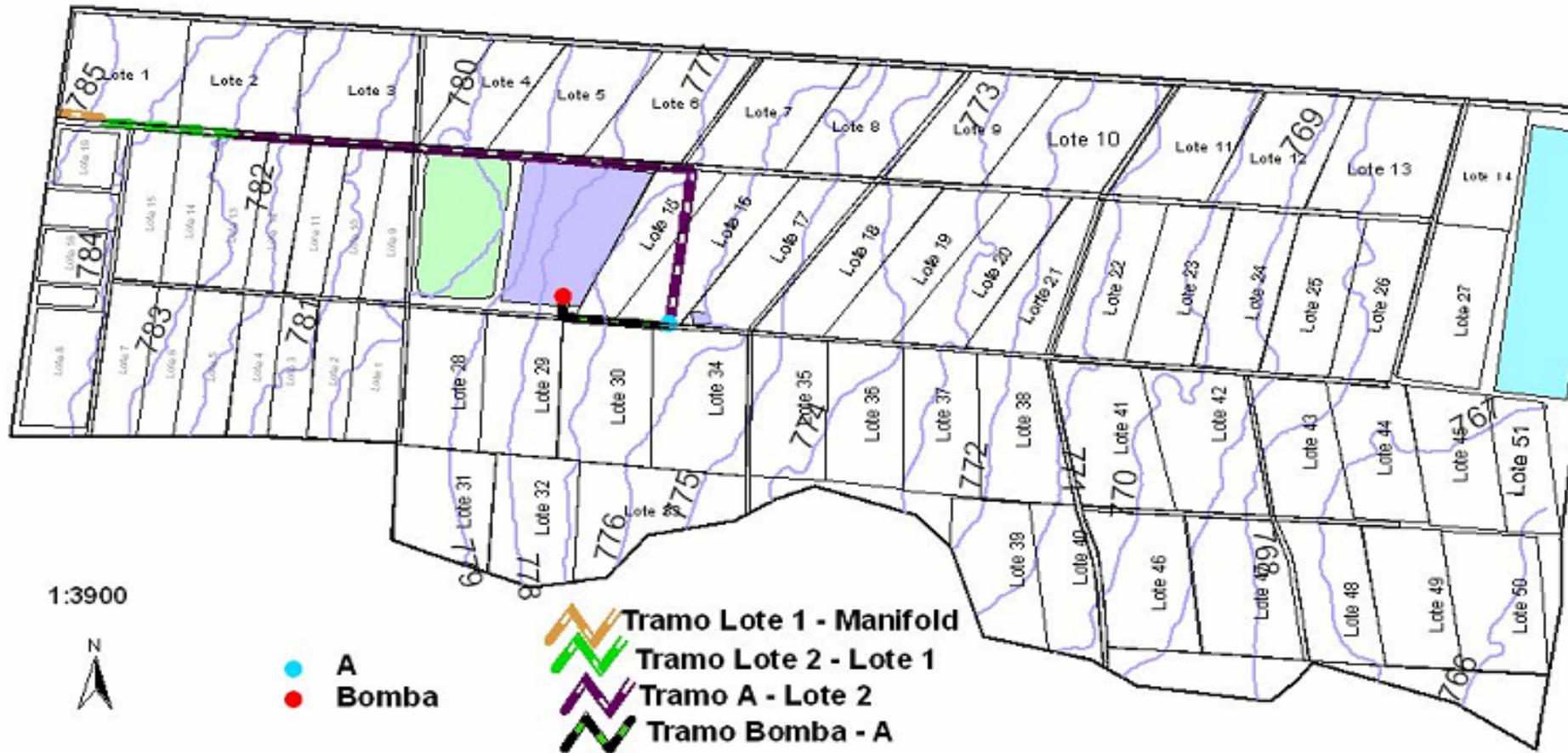


Figura 6. Tramos para el cálculo de la CDT para el área de producción hortícola.

Cuadro 13. Pérdida de presión generada por fricción en los accesorios (hf/L) del control de válvula del lote 1.

Accesorio	Cant. [‡]	Diam Int. ^ω (m)	Longitud total (ft ^Ω)	Q ^φ (m ³ /h)	V ^ψ (m/s)	hf/L (psi)
Tee 4"	1	4.15	21.9	19.3	0.6	0.04
Tee 2"	1	2.23	10.8	19.3	2.1	0.40
Tee 1 1/2	1	1.78	8.8	19.3	3.3	0.96
Codo 90 2"	1	2.23	2.8	19.3	2.1	0.11
Reductor 4" a 2"	1	2.23	2.9	19.3	2.1	0.11
Reductor 2" a 1 1/2	1	1.78	0.9	19.3	3.3	0.11
Adaptadores macho 2"	2	2.23	6.9	19.3	2.1	0.26
Válvula	1	1.19	1.1	19.3	7.4	0.90
Tubería 2" (m)	2.2	2.23	7.2	19.3	2.1	0.27

[‡] Cantidad; ^ω diámetro interno; ^φ caudal; ^ψ velocidad; ^Ω Pie (1ft = 0.3048)

Cuadro 14. Cálculo de la carga dinámica total (CDT) para horticultura, expresado en libras por pulgada cuadrada (psi)

CDT		49.24
Altura Dinámica Succión		2.22
	Altura Estática Succión	2.14
	Tubería de succión	0.08
	Hf ^ψ tubería	0.04
	Hf accesorios	0.04
Altura Dinámica Descarga		29.02
	Bomba - A	0.52
	Hf tubería	1.77
	Hf accesorios	0.18
	Altura Estática	-1.43
	A - Lote 1	17.56
	Hf tubería	8.09
	Hf accesorios	0.18
	Altura Estática	9.29
	Lote 1 - Lote 2	2.6
	Hf tubería	0.46
	Hf accesorios	0.00
	Altura Estática	2.14
	Lote 2 - Manifold	8.34
	Tubería	3.76
	Robot	3.15
	Altura Estática	1.43
Estación de filtrado		8.00
Presión operación sistema		10.00

^ψ Pérdidas por fricción.

Cálculo de la carga dinámica total (CDT) para el área de producción orgánica

Se hizo una comparación de las pérdidas de presión para cada uno de los lotes y se determinó que el lote 16 es el punto más crítico del sistema (Anexo 6). Se consideraron las pérdidas de presión por fricción en la tubería principal, secundaria y manifold (Cuadro 15 y figura 7), en los accesorios de la tubería (Cuadro 16), en el control de válvula (Cuadro 17) y por la diferencia de la cota altimétrica (Cuadro 15).

Cuadro 15. Pérdidas de presión por fricción (hf/L) y diferencia de altura (ΔA) considerando la dinámica del fluido a lo largo de cada una de las secciones de tubería hasta llegar al punto más crítico (lote 1) del sistema de producción orgánica.

Tramo	Diámetro Interno (pulg ^o)	Longitud (m)	Caudal (m ³ /h)	V ^ψ (m/s)	hf/L (psi ^ς)	ΔA (psi)
Bomba - A	3.2	20	18.3	0.96	0.9	1.4
A - B	3.3	280	18.3	4.64	0.9	7.9
B-C	2.2	9	9.2	0.27	1.0	0.0
C-D	1.8	103	4.6	2.56	2.5	1.4

^ψ Velocidad; ^oPulgada (1 pulg = 0.254 m) ^ςLibra por pulgada cuadrada (0.0209 psi = 1 Pa)

Cuadro 16. Pérdidas de presión por fricción en los accesorios de la tubería principal y secundaria para el punto más crítico del sistema de producción orgánica.

Accesorios	Canti. [‡]	Diámetro Interno (pulg)	Long. Total ^o (ft ^Ω)	Caudal (m ³ /h)	V ^ω (m/s)	hf/L (psi)
Tramo Bomba – A						
Codo 90	1	3.23	5.0	18.3	0.9	0.03
Tee	1	3.23	16.9	18.3	0.9	0.09
Reductores de 3 a 2	1	2.23	2.9	18.3	2.0	0.10
Tramo B - C						
Tee	1	2.23	10.9	9.1	1.0	0.10
Reductor 2 a 1 1/2	1	1.78	0.9	9.1	1.5	0.03
Codo 90	1	1.78	1.0	4.5	0.7	0.01

[‡]Cantidad; ^o Longitud total; ^ωvelocidad; ^ΩPie(1ft = 0.3048 m)

Se diseñaron tres tipos de controles de válvulas. El tipo uno es para los lotes 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7; el tipo dos es para los lotes 9, 10, 11, 12,13, 14 y 15 y el tipo 3 para los lotes 8 y 16.

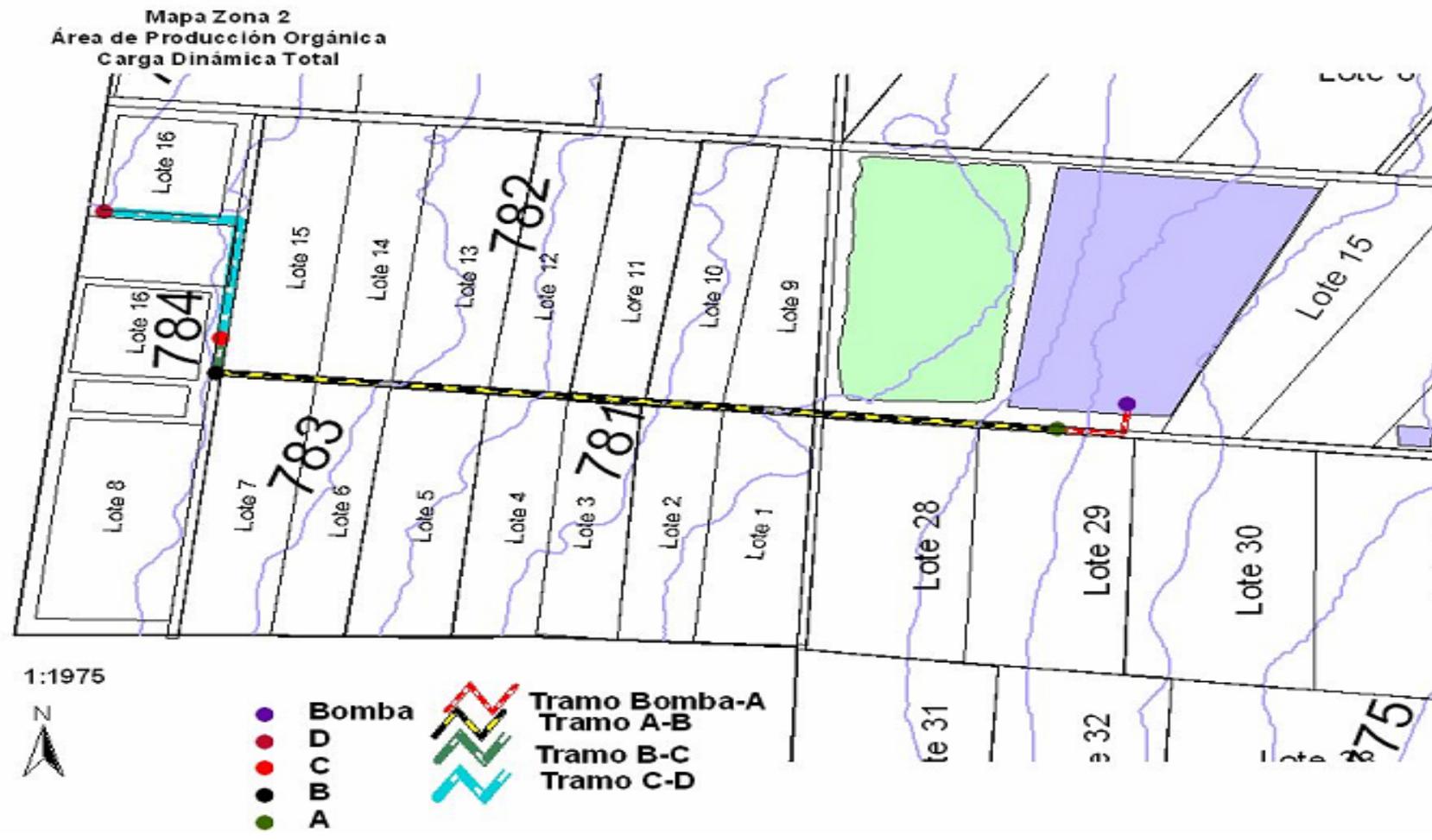


Figura 7. Tramos para el cálculo de la CDT para el área de producción orgánica.

Cuadro 17. Pérdida de presión generada por fricción en los accesorios del control de válvula del lote 17.

Accesorio	Cant. [‡]	Diam Int. [°] (m)	Longitud total (ft ^Ω)	Q ^φ (m ³ /h)	V ^ψ (m/s)	hf/L (psi)
Tee 3"	1	3.23	16.9	9.1	0.48	0.03
Tee 2"	1	2.23	8.8	9.1	1.01	0.08
Tee 1 1/2	1	1.78	2.8	9.1	1.58	0.08
Codo 90 2"	1	2.23	2.8	9.1	1.01	0.03
Reductor 3" a 2"	1	2.23	2.9	9.1	1.01	0.03
Reductor 2" a 1 1/2	1	1.78	0.9	9.1	1.58	0.03
Adaptadores macho 2"	2	2.23	6.9	9.1	1.01	0.06
Válvula automática 2"	1	1.19	1.1	9.1	3.52	0.23
Tubería 2" (m)	2.2	2.23	6.5	9.1	1.01	0.06

[‡]Cantidad; [°]diámetro interno; ^φcaudal; ^ψvelocidad; ^ΩPie (1ft = 0.3048)

Cuadro 18. Cálculo de la carga dinámica total (CDT) para horticultura, expresado en libras por pulgada cuadrada (psi)

Carga Dinámica Total		39.43
Altura Dinámica Succión		2.22
	Altura Estática Succión	2.14
	Tubería de succión	0.08
	Hf tubería	0.04
	Hf accesorios	0.04
Altura Dinámica Descarga		19.21
	Tramo bomba-A	1.98
	Hf tubería	0.36
	Hf accesorios	0.22
	Altura Estática	1.40
	Tramo A-B	12.54
	Hf tubería	4.64
	Hf accesorios	0.00
	Altura Estática	7.90
	Tramo B-C	0.41
	Hf tubería	0.27
	Hf accesorios	0.14
	Altura Estática	0.00
	Tramo C-D	4.28
	Tubería	2.56
	Robot	0.29
	Altura Estática	1.43
Estación de filtrado		8.00
Presión operación		10.00

Cálculo del presupuesto y del flujo de efectivo

Para los dos sistemas se consideraron los costos de materiales (Anexo 7 y 8), instalación y mano de obra.

Cuadro 19. Presupuesto para cada uno de los sistemas de riego.

Presupuesto	Costo \$	
	Horticultura	Orgánica
Sistema de Riego	51,110	11,143
Zanjeo	10,667	2,086
Mano de obra	1,842	9,21
Total	63,919	14,150

Análisis Financiero

Para el área de producción hortícola el valor actual neto (VAN) fue de \$ 100,743 y la tasa interna de retorno (TIR) fue de 352%. Se consideró un préstamo de \$50,000 amortizado a cinco años con una tasa de interés del 10%. El valor de rescate es de 10% con una depreciación lineal de 10 años (cuadro 20)

Para el área de producción orgánica el VAN fue de \$3,857 y la tasa TIR fue de 0.43%. Se consideró un préstamo de \$10.000 amortizado a cinco años con una tasa de interés del 10%. El valor de rescate es de 10% con una depreciación lineal de 10 años (cuadro 21).

Cuadro 20. Flujo de efectivo (\$) para el diseño del área de producción hortícola.

	Año					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	-4150					
Ingresos		16400.00	16400.00	16400.00	16400.00	16400.00
Costos		10400.00	11024.00	11685.44	12386.57	13129.76
Depreciación		1190.56	1190.56	1190.56	1190.56	1190.56
Utilidad Bruta		4809.44	4185.44	3524.00	2822.87	2079.68
Amortización Capital		2433.00	2433.00	2433.00	2433.00	2433.00
Valor residual (10%)						7275.00
Utilidad Antes de Impuesto		2376.44	1752.44	1091.00	389.87	6921.68
Flujo neto efectivo	-4150	2376.44	1752.44	1091.00	389.87	6921.68
Flujo neto acumulado	-4150	-1773.56	-21.12	1069.87	1459.75	8381.42
VAN	3857.79					
TIR	0.43					

Cuadro 21. Flujo de efectivo (\$) para el diseño del área de producción orgánica.

	Año					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	-13,919.00					
Ingresos		260,488.00	260,488.00	260,488.00	260,488.00	260,488.00
Costos		191,407.00	202,891.42	215,064.91	227,968.80	241,646.93
Depreciación		4,626.90	4,626.90	4,626.90	4,626.90	4,626.90
Utilidad Bruta		64,454.10	52,969.68	40,796.19	27,892.30	14,214.17
Amortización Capital		12,165.84	12,165.84	12,165.84	12,165.84	12,165.84
Valor residual (10%)						28,200.80
Utilidad Antes de Impuesto		52,288.26	40,803.84	28,630.35	15,726.46	30,249.13
Flujo neto efectivo	-13,919.00	52,288.26	40,803.84	28,630.35	15,726.46	30,249.13
Flujo neto acumulado	-13,919.00	38,369.26	79,173.10	107,803.45	123,529.92	153,779.05
VAN	100,743.45					
TIR	352%					

CONCLUSIONES

- El sistema de riego por goteo es el que más se adaptó a las condiciones de producción del área de agricultura orgánica y horticultura, permitiendo su producción durante todo el año.
- Las instalaciones de los sistemas de riego proveerán un área para el aprendizaje de los estudiantes, permitiendo la comparación entre un sistema de riego automatizado y un riego por goteo convencional
- El sistema de riego del área de horticultura facilitará la implementación de la rotación de cultivos.
- Con el sistema independiente del área de orgánica se evitará contaminación con residuos de fertilizantes o plaguicidas que se utilizaban en el área convencional.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los turnos de riego propuestos para evitar problemas con presiones en las válvulas que alimentan los lotes.
- Si se cambia el modelo de las cintas de goteo, se debe optar por una que presente características similares.
- Adaptar las horas de riego y el intervalo de riego, según las diferentes épocas de siembra y etapas de crecimiento de los cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

BurtT, C. 2000. Riego por Goteo y Micro aspersión para Árboles, Vides y Cultivos Anuales. (en línea). 25 ago 2007. Disponible en: <http://www.itrc.org/riego/riego.htm>

FAO, 2005. Uso del agua agrícola. (en línea). 26 ago 2007. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0511sp2.htm>

FAO, 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de requerimientos de agua de los cultivos. (en línea). Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

Montenegro, A.; Bezerra, F. y De Lima, A.2004. Evapotranspiration and crop coefficients of papaya in the coastal region of Ceará stata, Brazil. Engenharia Agrícola Journal. (En línea). 12 jun 2008. disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162004000200027&script=sci_artte xt&tIng=pt.

NETAFIM. 2007. Características del riego por goteo. (En línea). 24 ago 2007. Disponible en: http://www.sugarcane crops.com/s/drip_irrigation/#1.

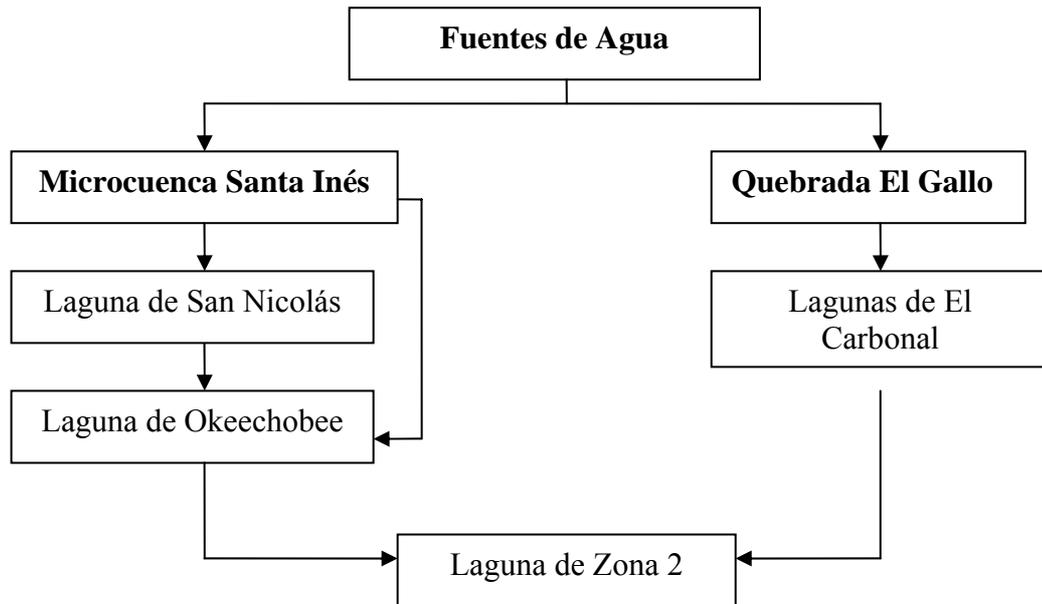
Poirée, M.; Ollier, C. 1970. El Regadio Redes, Teoría y Economía de los Riegos. Las relaciones del Suelo Agua. 2 ed. Barcelona, España. EYROLLES. 362pg.

Velez, E. 2005. La Eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego.(en línea). 25 ago 2007. Disponible en: http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/palacios.html.

Withers, B.; Vipond, S.1974. El Riego Diseño y Práctica. El agua en los suelos. Tlacoquemécatl, México D.F. DIANA . 345pg.

ANEXOS

Anexo 1. Fuentes y distribución de agua.



Anexo 2. Fecha de siembra para el año 2009 en el área de hortalizas.

	Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago						
	15	30	15	31	15	30	15	31	15	31	15	28	15	31	15	30	15	31	15	30	15	31	15	31					
0.5 ha			Lechuga						Fresas/Culantro																				
								Cebolla																					
0.5 ha					Zanahorias						Habichuelas																		
					Fresas/Culantro						Berenjenas																		
0.5 ha								Cebolla				Lechuga				Cok				Habichuelas									
0.5 ha					Remolacha/Espinaca						Habichuelas				Lechuga														
0.5 ha	Cobertura				Papas						Maiz Dulce																		
0.5 ha	Cobertura				Chile																								
0.5 ha	Cobertura				Chile																								
0.5 ha	Cobertura				Maiz Dulce																								
0.5 ha			Cebolla				Lechuga				Sandia/Melon																		
0.5 ha	Habichuelas				Lechuga				Sandia/Melon																				
0.5 ha								Papas				Zapallo/Pepino				Cobertura													
0.5 ha	Cobertura				Tomate						Cobertura				Cobertura														
0.5 ha	Cobertura				Brocoli/Repollo						Tomate				Cobertura														
0.5 ha	Cobertura				Sandia/Melon						Tomate				Cobertura														
0.5 ha	Cobertura				Maiz Dulce						Chile jalapeño				Cobertura														
0.5 ha	Cobertura				Sandia/Melon						Chile jalapeño				Cobertura														
0.5 ha	Cobertura				Brocoli/Repollo						Chile jalapeño				Cobertura														
0.5 ha	Cobertura				Zapallo/Pepino						Lechuga				Chile jalapeño														
0.5 ha								Frijol																					
0.5 ha								Frijol																					
0.5 ha								Frijol																					
0.5 ha								Frijol																					
0.5 ha								Frijol				Chile jalapeño				Cobertura													
0.5 ha								Frijol				Chile jalapeño				Cobertura													
0.5 ha								Frijol				Chile jalapeño				Cobertura													
0.5 ha								Frijol				Chile jalapeño				Cobertura													
0.5 ha	Cobertura				Chile jalapeño						Fijol				Cok														
0.5 ha	Cobertura				Chile jalapeño						Fijol				Cok														
0.5 ha	Cobertura				Chile jalapeño						Fijol				Cok														
0.5 ha	Cobertura				Chile jalapeño						Fijol				Cok														

Anexo 3. Área de cada uno de los lotes del área de horticultura.

Lote	Área (ha)	Lote	Área (ha)
1	0.58	27	0.38
2	0.58	28	0.50
3	0.58	29	0.50
4	0.35	30	0.60
5	0.50	31	0.50
6	0.50	32	0.50
7	0.50	33	0.58
8	0.50	34	0.62
9	0.50	35	0.50
10	0.60	36	0.50
11	0.50	37	0.50
12	0.50	38	0.54
13	0.63	39	0.50
14	0.37	40	0.38
15	0.39	41	0.61
16	0.50	42	0.64
17	0.50	43	0.50
18	0.50	44	0.50
19	0.50	45	0.50
20	0.50	46	0.60
21	0.39	47	0.62
22	0.50	48	0.50
23	0.50	49	0.50
24	0.50	50	0.67
25	0.50	51	0.34
26	0.47		

Anexo 4 Área de cada uno de los lotes del área de producción orgánica.

Lote	Área (ha)	Lote	Área (ha)
1	0.30	9	0.25
2	0.25	10	0.27
3	0.24	11	0.27
4	0.26	12	0.29
5	0.34	13	0.35
6	0.25	14	0.26
7	0.32	15	0.32
8	0.36	16	0.31

Anexo 5. Pérdidas de presión por fricción y diferencia altimétrica hasta a la válvula de cada lote del área de producción hortícola.

Tramo	Diferencia cota altimétrica (m)			Tubería		Fricción (psi)			Carga (psi)	Hf total	CDT	Presión Válvula
	Cota Inicial	Cota Final	Equiv PSI	Diam Int	Long	Q (m3/h)	hf/L	Vel.(m/s)	hf + altura		psi	
Bomba-A	777.5	776.5	-1.4	4.154	84	38.7	1.77	1.23	0.3	0.3	49.2	
A-Lote 2	776.5	783.0	9.3	4.224	417	38.7	8.09	1.19	17.4	17.7	49.2	20.90
Lote 2 - Lote 1	783.0	784.5	2.1	4.22	85	19.3	0.46	0.60	2.6	20.3	49.2	18.30
A-Lote 4	776.5	780.0	5.0	4.224	265	38.7	5.14	1.19	10.1	10.5	49.2	28.14
Lote 4 - lote 3	780.0	781.0	1.4	4.224	71	19.3	0.38	0.59	1.8	12.3	49.2	26.33
A - Lote 6	776.5	778.0	2.1	4.224	149	38.7	2.89	1.19	5.0	17.7	49.2	20.96
Lote 6 - Lote 5	778.0	779.0	1.4	4.224	63	19.3	0.34	0.59	1.8	19.4	49.2	19.19
A - Lote 7 y 16	776.5	776.0	-0.7	4.224	147	38.7	2.85	1.19	2.1	2.5	49.2	36.14
A - Lote 8 y 17	776.5	775.0	-2.1	4.224	202	38.7	3.92	1.19	1.8	2.1	49.2	36.50
A - Lote 9 y 18	776.5	774.0	-3.6	4.224	259	38.7	5.03	1.19	1.5	1.8	49.2	36.83
A - Lote 10 y 20	776.5	772.0	-6.4	4.224	237	38.7	4.60	1.19	-1.8	-1.5	49.2	40.11
A - Lote 11 y 22	776.5	771.0	-7.9	4.224	406	38.7	7.88	1.19	0.0	0.4	49.2	38.26
A - 12 y 24	776.5	769.5	-10.0	4.224	483	38.7	9.37	1.19	-0.6	-0.3	49.2	38.91
A - Lote 13 y 26	776.5	768.0	-12.1	4.224	530	38.7	10.28	1.19	-1.9	-1.5	49.2	40.14
A - Lote 14 y 27	776.5	768.0	-12.1	4.224	626	38.7	12.15	1.19	0.0	0.3	49.2	38.28
A - Lote 15	776.5	777.0	0.7	4.224	121	19.7	0.67	0.60	1.4	1.7	49.2	36.90
A - Lote 19	776.5	773.0	-5.0	4.224	295	38.7	5.72	1.19	0.7	1.1	49.2	37.56
Lote 19 - Lote 21	773.0	772.5	-0.7	4.224	75	19.3	0.40	0.59	-0.3	0.8	49.2	37.87
A - Lote 23	776.5	770.0	-9.3	4.224	446	38.7	8.65	1.19	-0.6	-0.3	49.2	38.91
Lote 23 - Lote 25	770.0	768.0	-2.9	4.224	27	19.3	0.15	0.59	-2.7	-3.0	49.2	41.62
A - Lote 28 y 31	776.5	779.0	3.6	4.224	233	38.7	4.52	1.19	8.1	8.4	49.2	30.19
A - Lote 29 y 32	776.5	778.0	2.1	4.224	178	38.7	3.45	1.19	5.6	5.9	49.2	32.68
A - Lote 30 y 33	776.5	776.5	0.0	4.224	129	38.7	2.50	1.19	2.5	2.8	49.2	35.78
A - Lote 34	776.5	775.0	-2.1	4.224	122	38.7	2.37	1.19	0.2	0.6	49.2	38.06
Lote 34 - Lote 35	775.0	774.0	-1.4	4.224	69	19.3	0.37	0.59	-1.1	-0.5	49.2	39.11
A - Lote 36	776.5	773.5	-4.3	4.224	237	38.7	4.60	1.19	0.3	0.7	49.2	37.97
Lote 36 - Lote 37	773.5	772.5	-1.4	4.224	53	19.3	0.28	0.59	-1.1	-0.8	49.2	39.42
A - Lote 38 y 40	776.5	771.5	-7.1	4.224	331	38.7	6.42	1.19	-0.7	-0.4	49.2	39.00
A - Lote 41 y 46	776.5	770.0	-9.3	4.224	417	38.7	8.09	1.19	-1.2	-0.9	49.2	39.48
A - Lote 42 y 47	776.5	769.0	-10.7	4.224	481	38.7	9.33	1.19	-1.4	-1.0	49.2	39.66
A - Lote 43 y 48	776.5	767.0	-13.6	4.224	535	38.7	10.38	1.19	-3.2	-2.9	49.2	41.47
A - Lote 44 y 49	776.5	767.0	-13.6	4.224	590	38.7	11.45	1.19	-2.1	-1.8	49.2	40.40
A - Lote 45 y 50	776.5	766.5	-14.3	4.224	637	38.7	12.36	1.19	-1.9	-1.6	49.2	40.21
A - Lote 40	776.5	771.0	-7.9	4.224	365	38.7	7.08	1.19	-0.8	-0.4	49.2	39.06
Lote 40 - Lote 51	771.0	776.0	7.1	4.224	317	19.3	1.70	0.59	8.8	8.4	49.2	30.21

Anexo 6. Pérdidas de presión por fricción y diferencia altimétrica hasta a la válvula de cada lote para el área de producción orgánica.

Tramo	Diferencia cota altimétrica (m)			Tubería		Fricción (psi)			Carga (psi)	Hf total	CDT	Presión Válvula
	Cota Inicial	Cota Final	Equiv PSI	Diam Int	Long	Q (m3/h)	hf/L	Vel.(m/s)	hf + alt.		psi	
Bomba - A	777.5	778.5	1.4	3.230	20	18.3	0.36	0.96	1.8	1.8	39.4	27.2
A - Lote 2 y 10	778.5	780.0	2.1	3.284	103	18.3	1.71	0.93	3.8	5.6	39.4	23.3
A - Lote 3 y 11	778.5	781.0	3.6	3.284	155	18.3	2.57	0.93	6.1	7.9	39.4	21.0
A - Lote 4 y 12	778.5	781.5	4.3	3.284	180	18.3	2.98	0.93	7.3	9.1	39.4	19.9
A - Lote 5 y 13	778.5	782.0	5.0	3.284	209	18.3	3.46	0.93	8.5	10.3	39.4	18.7
A - Lote 6 y 14	778.5	783.0	6.4	3.284	237	18.3	3.93	0.93	10.4	12.1	39.4	16.8
A - Lote 7 y 15	778.5	783.0	6.4	3.284	264	18.3	4.37	0.93	10.8	12.6	39.4	16.4
A - Lote 9 y 1	784.0	784.0	0.0	2.229	19	9.2	0.57	1.01	0.6	2.4	39.4	26.6
A - B	778.5	784.0	7.9	3.284	280	18.3	4.64	0.93	12.5	14.3	39.4	
B-C(Lote 8 y 16)	784.0	784.0	0.0	2.229	9	9.2	0.27	1.01	0.3	14.6	39.4	14.3

Anexo 7. Presupuesto materiales del sistema del área de producción hortícola.

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Tubería SDR 32.4 1 1/2"	498	5.8	2888.40
Tubería SDR 32.5 2"	25	7.1	174.72
Tubería SDR 26 4"	14	25.4	355.94
Tubería SDR 32.5 4"	308	20.5	6315.10
Tee 4"	56	15.0	840.65
Tee 2"	51	1.2	60.02
Tee 1 1/2"	51	0.8	40.26
Codo 90 4"	9	8.1	72.88
Codo 90 2"	62	1.0	59.16
Codo 45 4"	4	6.0	24.08
Codo 45 1 1/2 "	102	0.9	96.63
Reductor 4 a 2"	51	3.2	164.01
Reductor 4 a 1 1/2"	2	3.2	6.43
Reductor 2 a 1"	51	0.5	25.47
Reductor 2 a 1 1/2"	51	0.4	21.47
Adaptadores macho 4"	4	2.6	10.53
Adaptadores macho 2"	102	1.5	155.31
Adaptadores hembra 4"	4	3.7	14.74
Adaptadores hembra 1 1/2"	104	1.2	125.89
Adaptadores hembra 1"	51	1.2	61.74
Válvula de aire 1 1/2"	2	0.0	0.00
Válvula de aire 1"	51	13.0	662.06
Válvula de compuerta 4"	2	315.8	631.58
Válvula automatizada 2"	51	89.5	4563.16
Tapones 4"	4	4.1	16.36
Tapones 1 1/2"	102	0.4	42.95
Manómetros	2	20.1	40.26
Conectores iniciales	1600	0.2	286.32
Conectores de tubing a cinta	1600	0.2	300.63
Rollo de manguera	52	209.5	10892.63
Filtro de arena	1	1407.9	1407.89
Filtro de anillas	2	684.2	1368.42
Panel de control	1	18000.0	18000.00
Bomba	2	842.1	1684.21
Zanjeo	5067	2.1	10667.37
Mano de obra	3500	0.5	1842.11
Total			63919.38

Anexo 8. Presupuesto materiales del sistema del área de producción orgánica.

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Tubería SDR 26 3"	3	16.05	53.5
Tubería SDR 32.5 3"	47	15.31	714.6
Tubería SDR 32.5 2"	26	7.06	181.2
Tubería SDR 32.4 1 1/2"	90	5.80	519.1
Tee 3"	15	7.03	105.5
Tee 2"	19	1.18	22.4
Tee 1 1/2"	14	0.79	11.1
Codo 90 3"	1	4.75	4.8
Codo 90 2"	31	0.95	29.6
Codo 45 2"	1	1.13	1.1
Codo 45 1 1/2 "	30	0.95	28.4
Reductor 3 a 2"	16	3.22	51.5
Reductor 2 a 1"	18	0.50	8.9
Reductor 2 a 1 1/2"	15	0.79	11.8
Adaptadores macho 2"	34	1.52	51.8
Adaptadores hembra 1 1/2"	30	0.58	17.4
Adaptadores hembra 1"	17	0.58	9.9
Válvula de aire 1"	17	12.98	220.7
Válvula automatizada 2"	17	131.58	2236.8
Tapones 2"	1	0.45	0.4
Tapones 1 1/2"	30	0.45	13.5
Manómetros	2	20.13	40.3
Conectores iniciales	533	0.18	95.4
Conectores de tubing a cinta	533	0.19	100.1
Rollo de manguera	17	209.47	3561.1
Filtro de arena	1	947.37	947.4
Filtro de anillas	2	473.68	947.4
Sistema de inyección	1	209.47	209.5
Bomba	2	513.16	1026.3
Zanjeo	991	2.11	2086.3
Mano de obra	3500	0.26	921.1
Total			14228.7

Anexo 9. Accesorios del control de válvulas para el área de producción hortícola

Accesorios Robots			
Control 1		Control 2	
Tee 4"	1	Tee 4"	1
Tee 2"	1	Tee 2"	1
Tee 1 1/2"	1	Tee 1 1/2"	1
Codo 90 2"	1	Codo 90 2"	2
Reductor 4" a 2"	1	Reductor 4" a 2"	1
Reductor 2" a 1"	1	Reductor 2" a 1"	1
Reductor 2" a 1 1/2"	1	Reductor 2" a 1 1/2"	1
Adaptadores macho 2"	2	Adaptadores macho 2"	2
Adaptadores hembra 1"	1	Adaptadores hembra 1"	1
Válvula de aire 1"	1	Válvula de aire 1"	1
Válvula automatizada ^ψ	1	Válvula automática ^ψ	1
Tubería 2" (m)	2.2	Tubería 2" (m)	5.5
Control tipo 3			
Tee 4"	1		
Codo 90 4"	3		
Reductor 4" a 1 1/2"	1		
Adaptadores macho 4"	2		
Adaptadores hembra 1 1/2"	1		
Válvula de aire 1 1/2"	1		
Válvula compuerta 4"	1		
Tubería 4" (m)	2		

^ψVálvula automatizada de compuerta con regulador de presión.

Anexo 10. Accesorios del control de válvulas para el área de producción orgánica

Accesorios Robots			
Control 1		Control 2	
Tee 3"	1	Tee 3"	1
Tee 2"	1	Tee 2"	1
Tee 1 1/2"	1	Tee 1 1/2"	1
Codo 90 2"	1	Codo 90 2"	2
Reductor 3" a 2"	1	Reductor 3" a 2"	1
Reductor 2" a 1"	1	Reductor 2" a 1"	1
Reductor 2" a 1 1/2"	1	Reductor 2" a 1 1/2"	1
Adaptadores macho 2"	2	Adaptadores macho 2"	2
Adaptadores hembra 1"	1	Adaptadores hembra 1"	1
Válvula de aire 1"	1	Válvula de aire 1"	1
Válvula automática ^ψ	1	Válvula automática ^ψ	1
Tubería 2" (m)	2.2	Tubería 2" (m)	5.5
Control tipo 3			
Tee 2"	1		
Codo 90 2"	3		
Reductor 2 a 1"	1		
Adaptadores macho 2"	2		
Adaptadores hembra 1"	1		
Válvula de aire 1"	1		
Válvula automática 2"	1		
Tubería 2" (m)	2		

^ψVálvula automatizada de compuerta con regulador de presión.

Anexo 11. Tipos de control de válvulas