

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN APLICADO AL MODELO
PRODUCTIVO DE AGRÍCOLA INDUSTRIAL SUKIA S.A.

RODOLFO SALAZAR MORERA

CARTAGO, 2019

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN APLICADO AL MODELO
PRODUCTIVO DE AGRÍCOLA INDUSTRIAL SUKIA S.A.

Rodolfo Salazar Morera

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola.

Marvin Villalobos Araya

Asesor

Marvin Villalobos Araya

Director Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2019

Dedicatoria

A mi familia, por quien mejoro día a día y quienes me motivan a superarme a mí mismo.

A los docentes que me formaron y acompañaron a lo largo de este proceso, los cuales con sus enseñanzas, conocimiento y experiencia, contribuyeron en mi formación profesional.

Agradecimientos

A Dios, por supuesto.

A todo el personal de Agrícola Industrial Sukia S.A, que con su invaluable labor, logran una finca de calidad y brindaron todas las condiciones para lograr llevar a cabo esta investigación.

A mi familia, por soportar los sacrificios que esta carrera implica.

A mis docentes, Marvin Villalobos y Armando Alvarado Chaves por su invaluable apoyo.

A todas aquellas personas que hicieron posible este trabajo.

Índice de contenidos

Resumen Rodolfo.....	1
Abstrac.....	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. El cultivo de Plátano	7
2.1.1. Morfología.....	7
2.1.2. Ecología del Plátano	10
2.1.3. Suelos plataneros.....	13
2.1.4. Requerimientos hídricos del cultivo de Plátano.....	14
2.1.5. Requerimientos nutrimentales del cultivo de Plátano.....	14
2.2. El cultivo de Papaya.....	19
2.2.1. Morfología.....	19
2.2.2. Ecología del cultivo de Papaya.....	21
2.2.3. Suelos para el cultivo de Papaya	22
2.2.4. Requerimientos hídricos del cultivo de Papaya.	23
2.2.5. Requerimientos nutricionales del cultivo de Papaya	23
2.3. Riego	25
2.3.1. Riego por gravedad.....	26
2.3.2. Riego por aspersión.....	26
2.3.2.1. Características de los sistemas de riego por aspersión.....	27
2.3.2.2. Tipos de aspersores	27
2.3.2.3. Ventajas del riego por aspersión	28
2.3.2.4. Desventajas del riego por aspersión	29
2.3.2.5. Número y distribución de los emisores de agua por planta	29

2.3.3.	Distribución de la tubería.....	30
2.3.3.1.	Dispositivos de control.....	30
2.3.3.2.	Filtrado.....	31
2.3.3.3.	Zanjas para la instalación de tuberías	31
2.3.3.4.	Instalación de tuberías	32
2.3.3.5.	Equipo de bombeo.....	32
2.3.3.6.	Fertirrigación.	33
2.3.3.7.	Inyección de insecticida, fungicida y herbicida.....	34
2.4.	Estudios necesarios para el diseño de un sistema de riego.....	35
1.4.1.	Climatología	35
2.4.	Suelo	37
2.5.	Proceso de diseño	39
2.5.1.	Descripción topográfica	39
2.5.2.	Necesidades de riego.....	40
2.5.1.	Conceptos de diseño.....	43
2.5.1.1.	Eficiencia de riego por aspersión	43
2.5.1.2.	Grado de aplicación o intensidad de aplicación	44
2.5.1.3.	Distribución de la tubería.....	45
2.5.2.	Hidráulica de riego por aspersión.....	45
2.5.2.1.	Diseño de laterales.....	48
2.5.2.2.	Diseño del multiple.....	50
2.5.2.3.	Combinación de diámetro en tuberías sin salidas múltiples.	51
2.5.2.4.	Diseño de la tubería principal	52
III.	METODOLOGÍA.....	57
3.1.	Climatología de la finca.....	58
3.2.	Estudio edafológico de la finca.....	58

3.3.	Topografía de la finca	58
3.4.	Diseño agronómico de la finca.	58
3.4.1.	Evapotranspiración real del cultivo	58
3.1.1.	Selección de aspersores	59
3.4.2.	Necesidades de riego.....	59
3.4.3.	Frecuencia de riego.	60
3.2.	Diseño hidráulico	60
3.2.1.	Diseño de laterales.....	60
3.2.2.	Diseño del múltiple.....	61
3.2.3.	Diseño de la tubería principal.	62
3.3.	Fertirriego	62
3.4.	Análisis económico	54
IV.	RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	64
4.1.	Información meteorológica de la finca.....	65
4.2.	Resultados edafológicos de la finca.	66
4.2.1	Comportamiento de la infiltración de los suelos	68
4.3	Cartográfica y topografía de la finca.	69
4.4	Diseño hidráulico	72
4.4.1	Diseño agronómico.....	72
4.4.2	Necesidades de riego.....	73
4.4.2.1	Lamina de riego.	73
4.4.2.2	Precipitación horaria del sistema de riego (Phr).....	74
4.4.2.3	Intervalo de riego (Ir)	74
4.4.2.4	Lámina de riego ajustada (Lr (aj))	75
4.4.2.5	Ciclo de riego (Cr).....	75

4.4.2.6	Lámina bruta (Lb).....	75
4.4.2.7	Dosis bruta (Db).....	76
4.4.2.8	Dosis de agua bruta por planta (Dbp).....	76
4.4.2.9	Horas de riego por turno (Ht).....	76
4.4.2.10	Máximo número de horas de riego diarias (Hm).....	77
4.4.2.11	Máximo número de turnos de riego diarios (Td).....	77
4.4.2.12	Horas de riego por día (Hd).....	77
4.4.2.13	Número de turnos por ciclo (Tc).....	77
4.4.2.14	Superficie bajo riego por turno (St).....	78
4.4.2.15	Dosis bruta por turno (DBt).....	78
4.4.2.16	Caudal requerido (Qr).....	78
4.4.2.17	Descarga disponible en el sistema de riego (Qs).....	79
4.4.2.18	Número de emisores por turno (Emt).....	79
4.4.2.19	Diseño de laterales.....	80
4.4.2.20	Diseño de tubería múltiple.....	81
4.4.2.21	Diseño de tubería principal.....	82
4.4.2.22	Diseño de presiones.....	85
4.4.2.23	Diseño de sistema de bombeo.....	86
4.5	Fertirrigación.....	87
4.5.2	Necesidades nutricionales de un cultivo.....	88
4.6	Análisis Económico.....	91
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
6	BIBLIOGRAFÍA.....	98
7	ANEXOS.....	101

Índice de cuadros

Cuadro 1: Intervalos de tiempo de absorción foliar para los diferentes nutrimentos valorado para una absorción del 50 % del producto.....	18
Cuadro 2: Ejemplo de programa de fertilización en papaya apropiado para llenar las necesidades de una producción de 120 toneladas de fruta fresca en el suelo franco - arenoso de baja fertilidad de la zona atlántica.....	24
Cuadro 3: Características de los tipos de aspersores.....	38
Cuadro 4: Infiltración básica, según el tipo de suelo.....	39
Cuadro 5: Eficiencia de riego según el método utilizado.....	42
Cuadro 6: Eficiencias de aplicación para diferentes láminas y condiciones climáticas.....	44
Cuadro 7: Coeficientes F para laterales de aluminio y plástico.....	48
Cuadro 8: Balance hídrico para la subcuenta que afecta la finca Agrícola, obtenido con el método de Thorntwaite.....	65
Cuadro 9: Balance hídrico para la finca Agrícola Industrial Sukia, utilizando el método de Thorntwaite y un Kc 1.1 para los cultivos de papaya y plátano.....	66
Cuadro 10: Textura de suelos de muestras compuestas.....	67
Cuadro 11: Análisis químico de suelos para las muestras compuestas de los respectivos lotes de sistema de producción agrícola.....	67
Cuadro 12: Información del aspersor.....	73
Cuadro 13: Capacidad máxima de abasteciendo de emisores por cada diámetro de la manguera de polietileno.....	80
Cuadro 14: Histórico de Análisis de fertilidad de suelos de para los lotes de cultivos de Agrícola Industrial Sukia S.A.....	87
Cuadro 15: Variables para estimar las toneladas de cosecha esperadas en el cultivo de plátano. La cosecha esperada es de 18 toneladas de plátano.....	89
Cuadro 16: Variables para estimar las toneladas de cosecha esperadas en el cultivo de papaya. La cosecha esperada es de 100 toneladas de papaya.....	89
Cuadro 17: Demanda de nutrimentos para una producción de plátano.....	89
Cuadro 18: Demanda de nutrimentos para una producción de papaya.....	90

Cuadro 19: Demanda nutricional de elementos comerciales para la obtención de una cosecha esperada de 18 ton/ha de plátano.....	90
Cuadro 20: Demanda nutricional de elementos comerciales para la obtención de una cosecha esperada de 100 ton/ha de papaya.....	91
Cuadro 21: Beneficio económicos del sistema de riego.....	91
Cuadro 22: Costo de operación del sistema de riego.....	94
Cuadro 23: Balance económico de la implementación del sistema de riego.....	95

Índice de figuras

Figura 1: Fisiología del plátano.....	10
Figura 2: Diseño de preparación de terreno para el cultivo de plátano, papaya y pipa en finca la Agrícola Industrial Sukia.....	68
Figura 3: Curva de infiltración medida en la zona de cultivo definida en el diseño de cultivo.....	69
Figura 4: Ubicación Cartográfica la finca Agrícola Industrial Sukia.....	70
Figura 5: Ubicación de la finca Agrícola Industrial Sukia en la imagen satelital.....	71
Figura 6: Mapa de curvas de nivel ubicadas en los lotes de cultivo.....	72
Figura 7: Esquema de la máxima longitud de laterales.....	81
Figura 8: Distribución de tubería madre (principal) en la finca.....	84
Figura 9. Curva característica de la bomba.....	86

Resumen

El diseño del sistema de riego se llevó a cabo en la Finca Agrícola Industrial Sukia S.A., ubicada en la Vega de San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica. Inscrita en el Registro Público y el Registro Mercantil bajo la cédula de Personería Jurídica 3-101-601864, la cual cuenta con 78,8 hectáreas. La finca se comporta de manera integral con dos sistemas de producción. El sistema de producción agrícola se enfoca en tres cultivos: plátano, papaya y pipas los cuales han tenido un comportamiento irregular en cuanto a cosecha, debido al déficit hídrico que ocurre en los meses de febrero, marzo y abril.

Las oportunidades que justifican la implementación del sistema de riego con fertirriego se fundamenta en aprovechar la época seca para mantener constante la producción requerida por los clientes a lo largo del año y aumentar el rendimiento del cultivo mediante la tecnificación de la fertilización por medio del sistema de riego.

Con los datos recopilados del suelo, topografía y de clima se obtuvo el balance hídrico por medio del modelo Thornthwaite, con el cual se diseñó el sistema de riego que debe aportar para los cultivos en la época más crítica 2,27 milímetros de agua por día. Además se calculó los consumos de nutrientes para el cultivo papaya y plátano donde se llegó a una dosis y el cronograma de aplicación.

Mediante un análisis económico se concluye la viabilidad del proyecto con una tasa interna de retorno (TIR) muy favorable de 51% de la inversión.

Abstrac

The design of the irrigation system was carried out in the Agricultural Industrial Farm Sukia S.A. located in Vega de San Carlos, province of Alajuela, Costa Rica. Registered in the Public Registry and the Commercial Registry under the Identity Card 3-101-601864, which has 78.8 hectares. The farm behaves integrally with two production systems. The agricultural production system focuses on three crops: banana, papaya and pipas which have had an irregular behavior in terms of harvest, due to the water deficit that occurs in the months of February, March and April.

The opportunities that justify the implementation of the irrigation system with fertigation are based on taking advantage of the dry season to maintain constant production required by customers throughout the year and increase crop yield through the technification of fertilization through the system of irrigation.

With the collected data of the soil, topography and climate the water balance was obtained by means of the Thornthwaite model, with which the irrigation system was designed that must provide for crops in the most critical period 2.27 millimeters of water per day . In addition, the consumption of nutrients for the papaya and plantain crops where a dose was reached and the application schedule was calculated.

Through an economic analysis, the viability of the project is concluded with a very favorable internal rate of return (IRR) of 51% of the investment.

I. INTRODUCCIÓN

La finca Agrícola Industrial Sukia S.A. tiene aproximadamente 35 años de tener actividad en agricultura con una intensidad media de 25 hectáreas y las restante 54 hectáreas han estado con cobertura de bosque dedicado al manejo y protección del régimen forestal.

En la actualidad la administración de la finca se ha propuesto aprovechar al máximo la totalidad de sus recursos de la forma más eficiente posible, pero sin afectar al ambiente, ni atentar contra el agotamiento de los mismos. La empresa se ha dedicado al cultivo de productos no tradicionales como: plátano, yuca, papaya, ayote, camote principalmente, en la actualidad se enfoca en cultivo de plátano, papaya y pipas.

Como estrategia de mercadeo y posicionamiento de los productos agrícolas cosechados en la finca, está el tener producción permanente. Para lograrlo se siembran 600 plantas de plátano en forma semanal y 800 plantas de papaya cada 3 meses. Esta estrategia tiene una variabilidad alta en la época de cosecha y permite asumir compromisos de entrega a los clientes que exigen una cuota establecida de tan solo el 50% de la cosecha estimada la cual tiene un alto valor, el otro 50% de cosecha es muy variable y se vende a comerciantes que participan en ferias del agricultor, a un menor precio.

El clima de la zona se caracteriza por tener una época lluviosa de junio a enero y una época seca que comprende los meses de: febrero, marzo, abril y parte de mayo. En la época seca se da un atraso en el ciclo de producción de plátano y se ve afectada la formación de los frutos de papaya, causando problemas con los compromisos comerciales adquiridos. Por esta razón, tener un sistema de riego le daría a la finca una ventaja competitiva, al permitirle a los cultivos tener un desarrollo pleno abasteciendo sus necesidades hídricas de manera eficiente.

Las plantaciones de papaya y plátano se fertilizan en forma granular aplicada al suelo. Estas aplicaciones con excesos o poca humedad en el suelo se hacen ineficientes, por lo que un sistema de riego ayudaría a mejorar la eficiencia de fertilización a través de un sistema de fertirrigación aprovechándose así la infraestructura del sistema de riego considerado. En función a lo anteriormente mencionado, se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general

- a. Diseñar un sistema de riego por aspersión para los cultivos de plátano y papaya,

Objetivos específicos

- a. Realizar el diseño agronómico para los cultivos de papaya y plátano.
- b. Realizar el diseño hidráulico para el sistema riego por aspersión
- c. Confeccionar un programa de fertirriego para los cultivos de papaya y plátano.
- d. Realizar un análisis económico del proyecto.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El cultivo de Plátano

El cultivo de plátano (*Musa Paradisiaca*) se desarrolla en condiciones óptimas características de las regiones tropicales húmedas, predominando la humedad y temperaturas altas. De preferencia valles con suelos fértiles y bien drenados.

La planta de plátano es una hidrófita originaria del trópico húmedo y su estructura vegetativa está adaptada a condiciones de alta humedad, por lo tanto es muy susceptible a las deficiencias hídricas y eso hace que el riego sea indispensable. Así mismo, es muy sensible a la disminución de oxígeno en la zona radicular.

2.1.1. Morfología

a) El cormo

Que inicialmente en la siembra se denomina como la planta madre y cuyas yemas laterales darán origen a los brotes. Morfológicamente el cormo se define como un tallo que desarrolla hojas en la parte superior y raíces adventicias en la parte inferior o rizomorfo. Si un cormo se corta longitudinalmente, el meristemo apical se observa en una depresión encerrada entre las bases foliares circundantes.

b) Yemas laterales (brotes o retoños)

Los brotes o retoños, mejor conocidos en los medios plataneros como “hijos”, se desarrollan a partir de las yemas laterales del cormo. De acuerdo con Soto (1985) en que la posición de las yemas en el cormo es una función de la filotaxia de la planta. Definiéndose filotaxia como el patrón de distribución de las hojas sobre el tallo o cormo.

c) Sistema foliar

a. Bases o vainas foliares

Las bases foliares son largas, sin lígulas y forman vainas envolventes que se traslapan a lo largo formando el pseudotallo. Los márgenes opuestos de cada base no se yuxtaponen. Las primeras laminas foliares en originarse son rechazadas y se desprenden debido a que el

desarrollo de nuevas hojas en el interior del pseudotallo produce un aumento de volumen según Soto (1985). Este fenómeno de crecimiento del pseudotallo, produce una posición interna que se transmite a las vainas exteriores, creando una rigidez que se asemeja este órgano a un tallo verdadero.

b. Pseudopeciolo

El pseudopeciolo en el extremo superior de la vaina foliar se estrecha y se adelgaza hacia el limbo o lámina foliar. La cara cóncava de la vaina se hace más pronunciada y se “abarquilla” por crecimiento de los bordes, constituyendo un verdadero canal conductor de agua.

La distancia entre los falsos “entrenudos” puede mostrar el índice de desarrollo de las plantas. “entrenudos” cortos muestran que no hay correlación entre el crecimiento de la planta y el sistema foliar por problemas nutricionales, “entrenudos” largos indican que las plantas son de crecimiento activo, sincronizado, vigorosas y bien nutridas.

c. Lámina foliar

La lámina foliar es dorsiventral y glabral. Externamente, el limbo se observa como una lámina delgada, muy verde en su cara superior y más o menos glauca en la inferior. Esta surcada por una nervadura estriada formada por las venas mayores que resaltan en la cara adaxial y están espaciadas de 5 a 10 mm; se extienden de la vena media hasta el margen casi perpendicular al eje, hay otras venas menores no tan definidas.

d) Inflorescencia

En una de las fases intermedias del desarrollo fisiológico de la planta de plátano, una parte del punto de crecimiento se transforma en una yema floral, para iniciar la inflorescencia. Días después, en una etapa de diferenciación avanzada se observa un tallo o raquis muy pequeño que la une con el cormo. Cuando la inflorescencia sale por el centro del pseudotallo, puede tener de 5 a 8 cm de diámetro y es de color blanco. Cuando emerge del mismo se convierte en raquis externo o pinzote se torna color verde (Soto, 1985).

e) Desarrollo del fruto

El desarrollo de fruto o plátano es partenocárpico, es decir, sin polinización. Al inicio el ovario crece en longitud y en diámetro. El tejido de pericarpio (pared ovárica) que está sobre los lóculos se invagina sobre los mismos, el eje floral, la placenta y los septos se dividen mitóticamente y se expanden. Al final, toda la cavidad ovárica está completamente obliterada y la porción central del fruto se llena con un tejido carnoso y suave. Los rudimentos seminales no desarrollan semillas. La epidermis del fruto consta de células cuadrangulares, estomas y una bien definida cutícula. Bajo la epidermis hay de 6 a 11 capas de parénquima hipodérmico, usualmente con cloroplastos y rafidios.

f) Fruto

A partir de los 30 días de emergido el racimos, el crecimiento disminuye y el alargamiento de la sección masculina de la inflorescencia se mantiene constante. Las brácteas que cubren los ramos de flores femeninas (manos), caen una a una por un periodo de 12 días. Una vez que cada bráctea se ha desprendido, deja al descubierto la mano y el ápice de los dedos, que están orientados hacia el suelo, se endereza y se voltean hacia arriba para alcanzar su posición definitiva después de 2 a 3 semanas.

g) Sistema radicular

Se considera que el suelo es un almacén de agua para la planta y su alcance lo define el sistema radicular en el cuál según Soto (2014), las raíces de las musáceas son de crecimiento rápido y muy sensibles al déficit o exceso hídrico, ya que el 65 % de ellas se encuentra en los primeros 30 centímetros del suelo (crecimiento superficial). El exceso de agua puede producir asfixia radical, es por ello que en la estación lluviosa el crecimiento de raíces es deficiente, con pérdidas muy sensibles por pudrición.

También, Soto realizó estudios sobre el crecimiento de raíces en especímenes del clon "Gran Enano", en la zona de Guápiles, Costa Rica, durante el año 1982. Observó que de un 60 a 70% de las raíces se encuentran comprendidas en los primeros 30 cm de profundidad, en una

distancia horizontal de 0 a 90 cm de la base de la planta, de 60 a 90 cm de profundidad sólo se encontró de un 10 a 15% del total. En resumen, puede decirse que para plantas del clon "Gran Enano", del 85 al 90% de las raíces se encuentran comprendidas entre 0 y 60 cm de profundidad.

En la figura 1 tenemos la descripción fisiológica de una planta de plátano.

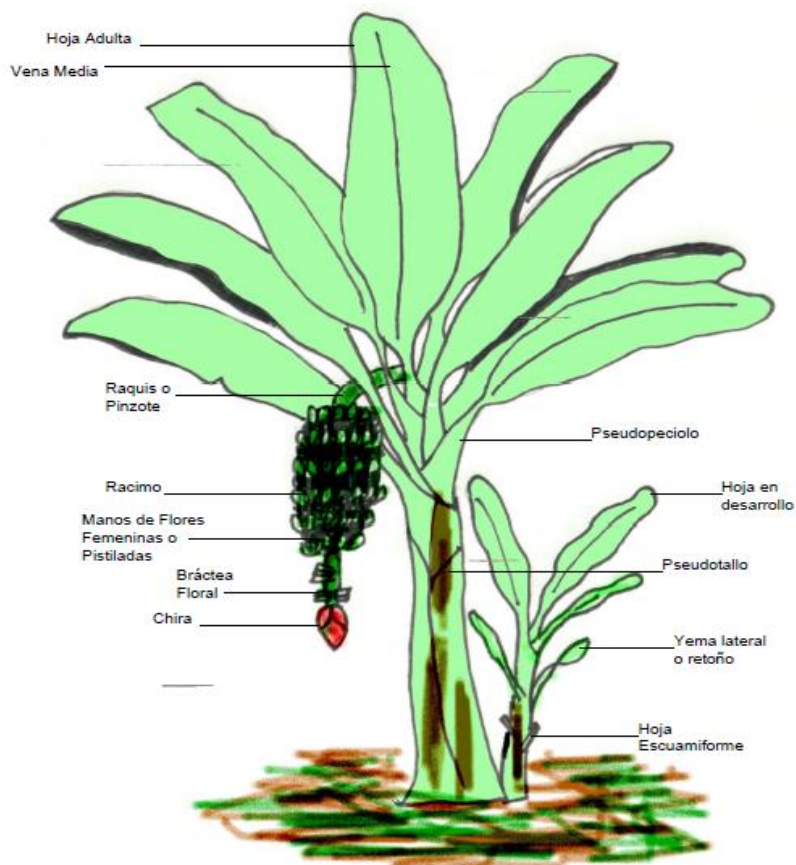


Figura 1. Fisiología del Plátano, fuente: Soto M, 2014.

2.1.2. Ecología del Plátano

Localización

Las condiciones climáticas adecuadas para la producción de plátano, se ubican entre una latitud de 30° Norte y 30° Sur de Ecuador, pero las condiciones óptimas se dan entre los 0° y 15° Soto, (2014)

Las condiciones climáticas adecuadas para la producción de plátano, se ubican entre una latitud de 30° Norte y 30° Sur de Ecuador, pero las condiciones óptimas se dan entre los 0° y 15° Soto (2014). De esta manera, Israel en el hemisferio norte y Nueva Gales del sur en Australia, en el hemisferio sur, se han convertido en límites de la producción comercial del plátano y banano.

a) Altitud

Las variaciones en altitud modifican en forma muy notoria los hábitos de crecimiento en las plantas de plátano.

Variaciones hacia arriba en altitud, prolongan el ciclo biológico; así en islas canarias, por cada 100 m de altitud, se prolonga el ciclo biológico en 45 días, y en Jamaica por cada 70 m de altitud las plantas alargan su vida 76 días (Soto, 2014).

Las plantas plátano muestran un comportamiento botánico y fisiológico diferente para las distintas altitudes, que hacen a veces muy difícil determinar con exactitud las características taxonómicas de un clon determinado.

b) Lluvia y humedad

La planta de plátano por su estructura botánica, requiere de una gran disponibilidad de humedad permanente en los suelos. Según Soto (2014) para la obtención de cosechas económicamente rentables, se considera suficiente suministrar de 100 a 180 mm de agua por mes, para cumplir con los requerimientos necesarios de la planta. El autor determinó necesidades netas de 167 mm por mes.

Con base en la consideración anterior, es importante recalcar que existe una gran variedad de condiciones de pluviosidad en que se desarrollan los plátanos comerciales, pudiendo variar desde los extremos del litoral subárido de Somalia a las planicies húmedas de Atlántico de Costa Rica y Panamá.

c) Temperatura

La temperatura tiene un efecto preponderante en el desarrollo y crecimiento del plátano. El cultivo requiere temperaturas relativamente altas, que varían entre los 21 y los 29,5° C, con una media de 27. Su mínima absoluta es de 15,6° C y su máxima de 37,6°. Exposiciones a temperaturas mayores o menores causan deterioro y lentitud en el desarrollo, además de daños en la fruta (Soto, 2014).

d) Vientos

Los suaves desgarres causados en la lámina de la hoja por el viento, normalmente no son serios cuando las velocidades son menores de 20 a 30 km/h, velocidades mayores, pueden causar daños severos, especialmente en la región del caribe en que se da una temporada de vientos. El viento produce distorsiones en el sistema foliar con reducción en la producción de fruta, cuando las velocidades son altas, la planta se vuelca por “desraizamiento” o ruptura del pseudotallo (Soto, 2014).

e) Luminosidad

La fuente de energía que utilizan las plantas verdes, es la radiación solar, comprendida entre 0,4 y 0,7 μm del espectro. La duración del día es de gran importancia y depende de la altitud, latitud, nubosidad, polvo y cobertura vegetal. El área foliar, ángulo y forma de la hoja influyen mucho en el aprovechamiento de la luz, especialmente en condiciones competitivas.

La luz es determinante en la duración del periodo de desarrollo del fruto una vez que éste ha emergido de la planta, ya que la etapa de llenado de almidones requiere de toda capacidad fotosintética de la planta madre. Es así, que en zonas de alta luminosidad el periodo para alcanzar el grado de corta comercial es de 80 a 90 días, mientras que en la zona norte de Limón en Costa Rica, con baja luminosidad en algunas épocas del año, el periodo para alcanzar el grado varía entre 85 y 112 días. Bajo luminosidad intermedia, la cosecha se obtiene entre 90 y 100 días después de que el racimo brota. (Soto, 2014).

f) Radiación solar

La energía electromagnética contenida en la radiación solar es fundamental, tanto para las plantas como para los demás seres vivos, pues su conversión en energía química a través de la fotosíntesis permite la producción y almacenamiento de carbohidratos para el mantenimiento de la vida en la tierra.

El grado en que la radiación es utilizada, depende de la concentración de la clorofila y otros pigmentos fotosintéticos activos. En comunidades de plantas, la fotosíntesis se lleva a cabo en estratos acumulados de hojas que se superponen sombreando unas a otras. (Soto, 2014).

2.1.3. Suelos plataneros

La planta de plátano requiere de suelos porosos, profundos, con textura media o ligera. El hecho de encontrar un porcentaje mayor de raíces grandes a grandes profundidades (1 – 2 m) tiene su explicación en la buena aireación y porosidad del horizonte; estas condiciones son comunes en los suelos plataneros de los países latinoamericanos, los que presentan una notable vegetación que no poseen otras regiones plataneras del mundo así como lo afirma Soto, (2014).

En un suelo con buena estructura y porosidad, la producción de raíces laterales a partir de raíces primarias bien establecidas es rara. En suelos duros, las raíces son delgadas y presentan ramificaciones muy finas. En este tipo de suelo es corriente que la raíz encuentre obstáculos, lo cual parece inducir la producción de raíces laterales, (Soto, 2014).

a) Poder de retención de agua

Los suelos plataneros requieren de un alto poder de retención de agua para satisfacer los grandes requerimientos de la planta. En los suelos de los principales países productores de banano el poder de retener agua varía de acuerdo con su origen. Los suelos bananeros con mayor conservación de humedad son los aluviales con texturas moderadamente pesadas y contenidos de arcillas superiores al 20% con un buen espacio poroso, (Soto, 2014).

b) Drenaje

Los suelos plataneros deben ser bien drenados en todo su perfil y el agua superficial de las lluvias o de riego, debe percolar con algún grado de rapidez sin ser excesivo. El suelo debe estar húmedo a capacidad de campo, pero no saturado por periodos prolongados de más de 72 horas, ni excesivamente seco. La planta de plátano por su rápido desarrollo, requiere de grandes cantidades de agua asimilable, los excesos deben de eliminarse rápidamente a fin de que no limiten el aire del espacio del poro y ahoguen las raíces. Los niveles freáticos poco profundos o los drenajes internos lentos hacen necesaria la instalación de un sistema de drenajes artificial eficiente, técnicamente planeado.

2.1.4. Requerimientos hídricos

La planta de plátano, por su estructura botánica, requiere de una gran disponibilidad de humedad permanente en los suelos. Para la obtención de cosechas económicamente rentables, se considera suficiente suministrar de 100 a 180 mm de agua por mes, para cumplir con los requerimientos necesarios de la planta según VakiIi, (1974) y Tai, (1977) citados por Soto, (2014). El cual determinó necesidades netas de 167 mm por mes, equivalente a una lámina de agua diaria de 5 a 67 milímetros por día.

Según estudios realizados por Soto, (2014) el agua en el suelo juega un rol muy importante en la fotosíntesis de las plantas de plátano, se afirma que en plantas sin estrés hídrico, la tasa fotosintética varió de 26,4 a 18,0. Mientras que pasó de 24,2 en plantas hasta 3,3 en plantas con 12 días de estrés hídrico. Las medidas de humedad se hicieron con tensiómetro, con escala de 0 a 100 kpa.

2.1.5. Requerimientos nutrimentales

Con el objetivo de maximizar los rendimientos productivos es importante seleccionar o delimitar por lotes con características similares el área destinada al cultivo. Por esta razón se justifica la fertilización por sitio específico. El manejo por sitio específico considera la respuesta en rendimiento a cada uno de los factores como el suelo, clima, genética del cultivo y su

interacción. De esta forma se puede hacer un mapa de rendimiento productivo de cada sitio (Espinosa, et al, 1996).

Por otro lado, el manejo por sitio específico requiere que el productor conozca el aporte del suelo de su finca. Para esto es necesario hacer un muestreo de suelos intenso y cuidadoso. Esto se logra dividiendo los lotes en cuadrículas y tomado muestras de cada una de las cuadrículas. Los sitios de muestreo son geo-referenciados con la ayuda de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System). De esta manera se puede confeccionar los mapas (Espinosa et al, 1996).

El manejo por sitio específico mejora la rentabilidad al incrementar los rendimientos y reducir el costo de los insumos. Esto no implica como regla que se vayan a utilizar menos insumos sino más bien, que se hace más eficiente su uso, obteniendo más rendimiento por unidad de superficie. El mejor manejo asegura una producción de mejor calidad que también aporta para la rentabilidad (Espinosa et al, 1996).

La fertilización del cultivo de plátano puede realizarse vía fertilizantes granulares y enmiendas dirigidas a suelo o mediante la aplicación vía foliar.

a) Fertilización

Según Soto, (2014) posterior al análisis de suelo y en caso de suelos ácidos, se recomienda aplicar un mes antes de la fertilización la enmienda que mejor se adapte a las necesidades del suelo, más 2 kilogramos de materia orgánica por planta/año, elementos que se deben fraccionar por partes iguales en el primero y segundo semestre, preferiblemente con suficiente humedad del suelo.

Para iniciar con el programa de fertilización es importante tener en cuenta la época de la planta en la cual el meristemo deja de producir hojas para producir el racimo. Por lo general este cambio ocurre entre las 18 y 20 hojas, es decir, a los seis meses después de haber sido sembrada. Lo cual quiere decir que la fertilización se debe hacer antes de que ocurra este cambio, y fraccionarse de acuerdo a las condiciones tanto económicas como de mano de obra (Soto, 1985).

La dosis total recomendada, puede dividirse durante el año y repartirse en varias aplicaciones para evitar el quemado de las raíces y pérdidas de nutrientes por volatilización (N) y lixiviación (N y K). Si el suelo tiene baja capacidad de retención de nutrientes (Baja Capacidad de intercambio catiónico, texturas gruesas, bajo porcentaje de materia orgánica), se recomiendan varias aplicaciones. Lo normal es entre 4 y 8 aplicaciones al año; pero depende del clima, tipo de suelo y disponibilidad de mano de obra. La ventaja de la división de la dosis, es la mayor eficiencia de uso y por consecuencia, mayor rentabilidad (Soto, 1985).

b) De la Siembra a los 6 meses.

Según Soto, (2014) la primera aplicación a los 45 días después de la siembra cuando la planta tenga su sistema radicular bien desarrollado por lo general se utilizan fórmulas altas en fósforo con el propósito de suministrar este elemento cuando la planta requiere de gran cantidad de energía para el inicio del crecimiento como para la estimulación del sistema radicular, un ejemplo de estas fórmulas son el 10-30-10, 8-40-12, 12-24-12. La segunda aplicación a los 100 días después de la siembra con fórmulas altas en nitrógeno (ureas, nitratos y fertilizantes químicos como 28-4-0-6s) asegurándonos de esta manera satisfacer los altos consumos de nitrógeno en lo referente al crecimiento vegetativo, fundamentalmente para la elaboración de aminoácidos y clorofila y la tercera aplicación a los 150 días después de la siembra esta se recomienda con fórmulas llamadas completas como 18-5-15-6-2, 17-6-18-5.4, 19,4,19 entre otras. Antes de que ocurra el cambio del meristemo y la planta pueda aprovechar la totalidad del fertilizante, además de incrementar los niveles de potasio esenciales en el llenado del fruto, se recomienda que esta última fertilización esté dirigida al hijo de reemplazo.

c) Después de la floración

Debido a que posterior a la floración la planta cuenta con hijos de sucesión esta fertilización se recomienda sea realizada con fórmulas con cantidades altas de potasio y nitrógeno más fósforo y elementos menores como B, Zn, Ca, S, Mo, Mg y Mn de preferencia fórmulas mezcla química, para evitar la segregación y lograr aplicaciones homogéneas de nutrientes. (Soto, 2014).

d) Fertilización Foliar

Según Bertsch (1995) la fertilización foliar es una excelente alternativa como suplemento nutricional para plantas que por diversos motivos hayan perdido parte de su sistema radical. Es importante tener claro, que la fertilización foliar sólo puede ser un suplemento de la nutrición química, por tanto los elementos se deben aplicar en concentraciones bajas y en pocas cantidades. Para que este tipo de aplicaciones sean efectivas hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Suplir nutrientes que estén deficientes en el suelo y que se requieran en cantidades pequeñas, especialmente micronutrientes.

Superar la falta de habilidad de la planta para absorber nutrientes del suelo, debida a la presencia de condiciones de estrés, como pueden ser daños radicales causados por implementos, enfermedades, insectos, nematodos o sequía

Complementar la nutrición de cultivos que tienen gran área foliar expuestas y producciones muy fuertes; economizar productos caros que pueden perderse o fijarse en el suelo y garantizar su aprovechamiento por la planta; superar síntomas evidentes de deficiencias de algún nutrimento.

El fenómeno de absorción foliar, a través de las hojas se lleva a cabo en un tiempo relativamente corto, y es diferente para cada cultivo. Las fuentes químicas de aplicación son muy variadas, por lo general se usan sales como los sulfatos, con bajo índice salino, para evitar toxicidades. El nitrógeno se puede aplicar en forma de ureas bajas en biuret, en concentraciones no mayores de 1% en la solución. El potasio se puede aplicar en forma de muriato de potasio al 0,4%. La aplicación de quelatos parece ser una buena opción, ya que se absorben y son traslocados mejor que las sales minerales. También la utilización de ácidos húmicos reforzados con quelatos puede ser una buena alternativa para plantas bajo estrés por pérdida parcial del sistema radical (Bertsch, 1995).

Cada nutriente tendrá determinado tiempo para incorporarse a la planta, lo cual se caracteriza en el cuadro 1.

Cuadro 1. Intervalos de tiempo de absorción foliar para los diferentes nutrimentos valorado para una absorción del 50 % del producto

<i>Nutrimento</i>	<i>Tiempo de Absorción 50%</i>
N (Urea)	0.5 – 2 horas
P	5 – 10 días
K	10 – 24 horas
Ca	1 – 2 días
Mg	2 – 5 horas
Zn	1 – 2 días
Mo	10 – 20 días
S	8 días
Mn	1 -2 días
Fe	10 – 20 días

Fuente: Soto, 1985.

La fertilización foliar como suplemento o enmienda en plátano, es una excelente opción, ya que la aplicación aérea hasta de 14 ciclos por año de fungicidas para el control de Sigatoka, permite agregar suplementos nutricionales a las plantas a bajo costo (Soto, 1985).

Según Guzmán (1995) citado por Soto (1985) estudió el comportamiento de diferentes fertilizantes foliares según la estabilidad de la solución, pH y fitotoxicidad de diversas mezclas de fungicidas usadas en el control de Sigatoka negra; los resultados se detallan a continuación.

El efecto de la adición de fertilizantes foliares sobre la estabilidad, pH y fitotoxicidad de tres mezclas de fungicidas comúnmente utilizadas en el combate de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) del plátano. Los fungicidas propiconazole, tridemorph y mancozeb fueron mezclados con los fertilizantes foliares nitrato de potasio (KNO₃), Foliveex Polisacáridos®, Quelatozin®, Foliveex zinc 10%®, Menorel 900®, Urea®, y Humiforte N-6®, en emulsiones con de aceite agrícola, a un volumen total de 22,7 L/ha. Observó que el comportamiento físico de las mezclas varía según el fertilizante foliar utilizado, ya que la

adición de algunos de los fertilizantes foliares afectó la estabilidad física de las mezclas, mientras que otros no produjeron efectos detrimentales sobre ellas. Detectó cambios importantes en pH, debido a la adición de algunos de los fertilizantes foliares. El nitrato de potasio, la urea y el Humiforte N-6 no causaron efectos detrimentales sobre el pH de la mezcla. No se observaron incrementos en la fitotoxicidad de las mezclas fungicidas al adicionar los fertilizantes foliares. Las variaciones en pH provocadas por algunos de los fertilizantes foliares podrían afectar los fungicidas, por lo que se sugiere estudiar más detalladamente su efecto sobre la actividad de los fungicidas antes mencionados, así como la respuesta del cultivo a la fertilización foliar.

2.2. El cultivo de Papaya

La Papaya (*Carica Papaya L.*) es una especie originaria de América Central, (Bogantes, 2012) que pertenece a las Caricáceas, una pequeña familia principalmente americana compuesta por 6 géneros. Pertenece al género *Carica*, de la cual es la única representante.

Este frutal se desarrolla en casi todas las áreas tropicales del mundo. Los principales países productores de este cultivo son la India, Brasil y México. Para el año 2007, la producción mundial se estimó en cerca de 9 millones de toneladas métricas (Bogantes, 2012).

La fruta de la papaya ha adquirido relevancia en los últimos años debido a su buena calidad gustativa y a su alto valor nutricional. A pesar del creciente interés por este cultivo como una nueva alternativa para la exportación, el mercadeo internacional continúa siendo relativamente pequeño. En particular, en nuestro país, el área de siembra total no ha llegado a superar las 100 hectáreas (Bogantes, 2012). Lo anterior se da en parte a la saturación del mercado local, así como a diversos problemas técnicos que presenta este cultivo.

2.2.1. Morfología

a) Raíz

De acuerdo con Bogantes (2012) el sistema radicular es pivotante. La raíz principal es desarrollada y ramificada en forma radical y puede crecer hasta 1,5 m de profundidad,

dependiendo de las limitaciones físicas o químicas del suelo donde se siembre. Las raíces secundarias son de color blanco-crema y se encuentran distribuidas en los primeros 30 cm del suelo.

b) Tallo

Según Bogantes (2012) el tallo generalmente es único, no ramificado, algo lignificado en la base y puede alcanzar alturas de hasta 12 m. Con el transcurso de los años el tronco tiende a volverse más fibroso y hueco; a medida que envejece va tomando una coloración grisácea y se notan unas cicatrices triangulares en los puntos de inserción de las hojas ya caídas. Cuando el brote terminal ha sido afectado por una causa extraña se presenta la ramificación del tallo.

c) Hojas

Las hojas son de peciolo largo y hueco; de color verde, morado o una combinación de éstos dos colores; la lámina foliar es grande, gruesa, algo coriácea, de forma palmeada, hendida y palminervia. El haz es de color verde oscuro, lampiño; el envés es más claro y en él se observan las nervaduras protuberantes. Las hojas aparecen en forma alterna a lo largo del tallo; una cada cuatro días aproximadamente, para un total de 100 hojas por año. (Bogantes, 2012).

d) Flores

En lo reportado por Bogantes (2012) las flores nacen en la axila de cada hoja y pueden ser pistiladas, estaminadas o pistiloestaminadas, dando lugar a plantas femeninas, masculinas o hermafroditas, respectivamente. Son blancas cuando estén maduras, de cinco pétalos, de corola carnosa y ausentes de néctar. El papayo es una especie polígama, por presentar tres tipos sexuales primarios: plantas estaminadas o masculinas, pistiladas o hembras bisexuales o hermafroditas. Sin embargo, en el grupo de las hermafroditas existe un gran número de flores intermedias.

e) Fruto

El fruto es una baya de corteza débil, lisa, de color verde cuando esta inmadura y se torna amarilla o anaranjada al madurarse. Su forma es variable dependiendo del tipo de flor que lo origine, pudiendo ser redondo, elíptico o en algunos casos, en forma de pera. En su interior presenta una cavidad circular o estrellada que alberga gran número de semillas pequeñas, ovaladas o esféricas de unos dos milímetros de diámetro y de color negro o gris oscuro, rodeadas por un arilo jugoso. El color de la pulpa varía de amarillo oro hasta rojo salmón (Bogantes A, 2012).

2.2.2. Ecología del cultivo de Papaya

a) Temperatura

Según Bogantes, (2012) condiciones óptimas para el desarrollo de la Papaya se encuentran en regiones con temperatura promedio de 22 y 28° C. Es una planta sensible a bajas temperaturas. Al encontrarse con temperaturas de 0° C la planta se ve afectada severamente, pero se requiere exponerla a temperaturas más bajas para matar una planta adulta. Con temperaturas por debajo de los requisitos óptimos se retarda el crecimiento de la planta y el fruto, la producción disminuye y la calidad desmejora.

b) Precipitación

La planta de papaya necesita abundante agua para producir buenas cosechas, en parte porque la producción continua depende del crecimiento continuo del tallo y de la formación de nuevas hojas, ya que el fruto nace en la axila de ellas. Una falta de agua que afecte el crecimiento momentáneamente, puede ocasionar caída de flores y reducir los rendimientos hasta en un 50%. Por otra parte, para la producción de frutas de buena calidad se requiere de abundante agua, ya que el fruto tiene un contenido promedio de agua del 85% de su peso. Aunque el agua requerida depende de varios factores como temperatura, luz, viento, suelo y edad de las plantas, varios autores dan como correcta una cantidad de 1500 a 2000 mm, bien distribuida durante el año (Bogantes, 2012).

c) Humedad relativa

Comenta Bogantes (2012) sobre la humedad relativa que es también un factor importante en el cultivo de la papaya. Si la humedad es muy baja, la transpiración es excesiva; si es muy alta, favorece la presencia de enfermedades fúngicas. Este aspecto, entre otros, debe tenerse en cuenta al definir la densidad de siembra.

d) Vientos

A causa de las hojas grandes, tallos suculentos y frutos pesados, las plantas de papaya son sensibles a los vientos fuertes y es necesario el uso de rompevientos en las zonas donde existe el problema. Si los árboles tienen un buen sistema radical, pueden soportar vientos hasta de 16 km/h. por el contrario, vientos suaves favorecen la polinización y la aireación, evitando un exceso de humedad (Bogantes, 2012).

2.2.3. Suelos

La papaya crece en diferentes tipos de suelo, siempre que estos tengan un buen drenaje y estén convenientemente preparados antes de la siembra. La permeabilidad del suelo es uno de los factores más importantes a tener en cuenta al establecer un cultivo de papaya. Cuando el drenaje es deficiente, pueden ocurrir pudriciones radicales causando amarillamiento de las hojas, reducción de la producción y aún la muerte de la planta (Bogantes, 2012).

Los mejores suelos son los franco-arenosos, con un contenido medio de 4 a 5 por ciento de materia orgánica, profundos y obviamente con un buen drenaje tanto superficial como interno. Suelos compactados dificultan el crecimiento de la planta por reducir el volumen de exploración radical, siendo el mayor problema cuando hay deficiencia de agua. (Bogantes, 2012).

El pH óptimo se encuentra entre los límites neutrales a ligeramente ácidos, pH 6 a 7.

2.2.4. Requerimientos hídricos

En general, una planta de papaya incrementa su consumo de agua en función a su edad y su carga de fruta, debido a que la evapotranspiración del cultivo depende en parte de su área foliar, la cual aumenta con la edad. Estudios en Brasil indican que la máxima área foliar se alcanza entre los 7,5 a 9 meses de edad del cultivo dependiendo de la variedad, esta área foliar corresponden a unos 12-14 metros cuadrados en el híbrido “Tainung” reportados por Coelho Filho et al, (2006) citado por Bogantes, (2012). Tomando en cuenta que la transpiración por metro cuadrado de hoja en papaya puede llegar a los 3 litros por día en condiciones climáticas que promueven una alta evapotranspiración se puede determinar que el máximo consumo de agua puede llegar a superar los 40 litros por árbol durante la etapa de inicio de la producción. Sin embargo, hay que notar que este dato es un extremo, y existe consenso en la literatura de que el promedio requerimiento en las etapas de mayor consumo ronda los 30 litros por día. Por lo tanto, el sistema de riego debe tener la capacidad de suplir estos altos volúmenes en cada planta. Esto implica entre otras cosas, el uso de emisores con una descarga de entre 1 y 4 litros por hora, dependiendo del número que se coloquen por árbol.

2.2.5. Requerimientos nutricionales

Debido a la alta productividad, el cultivo de la papaya es muy intensivo en cuanto a la fertilización. La extracción total de macronutrientes por tonelada de fruta fresca, según consenso de varios autores Awada y Suehisa (1979), Cunha (1980), Avilán y Rengifo (1986) recopilados por Bertsch (2003), corresponden con:

N: 1, 8 kg

P: 0, 2 kg

K: 2, 1 kg

Mg: 0, 2 kg

Ca: 0, 3 kg

Una producción estimada de 120 toneladas durante un ciclo de cultivo de 14 meses, por lo tanto, extraerá como mínimo, unos 215 kg de N, 24 kg de P, 252 kg de K, 24 kg de Mg y 36 kg de Ca. Con estos datos de extracciones y el respectivo análisis de suelo, además de la

consideración de la eficiencia de los fertilizantes que se van a aplicar, es posible elaborar un programa de fertilización para el cultivo. A modo de ejemplo, a continuación se presenta un plan que llena apropiadamente esas necesidades, para una plantación sembrada a una densidad de 1.600 plantas por hectárea, en un suelo representativo del caribe del país, de textura franco-arenoso, con una baja cantidad de bases y una acidez media (cuadro 2). Es importante enfatizar que el programa descrito es solo una referencia que considera únicamente los nutrimentos por extracción de cosecha y por lo tanto puede considerarse como un mínimo. Siempre será preferible consultar con un ingeniero agrónomo para ajustar el plan de fertilización, con base en el análisis de suelo específico y las características climáticas de la zona de siembra.

Cuadro 2. Ejemplo de programa de fertilización en papaya apropiado para llenar las necesidades de una producción de 120 toneladas de fruta fresca en el suelo franco - arenoso de baja fertilidad de la zona atlántica.

Época (meses)	Fuente o fórmula (gramos por plante)				Kg/ha		
	Dolomita	10-30-10	18-5-15-6-1.2	15-3-31	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Antes de siembra	300						
Trasplante		30			5	15	5
1		60			10	30	10
2		60			10	30	10
3(inicio de floración)			80		24	7	20
4			100		30	8	25
5			120		36	10	30
6				100	25	5	51
7				100	25	5	51
8(inicio de cosecha)			120		36	10	30
9				100	25	5	51
10			100		30	8	25
11				100	25	5	51
12			100		30	8	25
13				100	25	5	51
					333	150	434

Fuete (Bogantes A, 2012).

Para los restantes meses, según la vida comercial de la plantación, es posible continuar con el plan de fertilización indicado de los 9 a los 13 meses en el cuadro 2.

Evidentemente, cualquier plan de fertilización debe considerar los restantes elementos menores. Especial atención merece el boro, cuya deficiencia en los estados reproductivos iniciales de la planta provoca un mal cierre apical de la fruta joven, lo que permite la invasión de la caída interna por patógenos y su consecuente caída. La deficiencia de boro en frutas más desarrolladas también puede provocar síntomas típicos de formación de protuberancias en la fruta, en la mayoría de ocasiones acompañadas de emisiones de látex. Es posible suplir necesidades adicionales de boro a través de aplicaciones foliares. Si se requiere reforzar también la cantidad de calcio en la planta, una estrategia común que ha dado buenos resultados es la de recurrir a la aplicación de productos foliares que contengan ambos elementos (Bogantes, 2012).

De acuerdo con Bogantes (2012) otro elemento menor que merece especial atención es el hierro, cuya deficiencia provoca el amarillamiento y cese de crecimiento de ápice. Es común que esta deficiencia se confunda con los síntomas originados por la enfermedad conocida como “Bunchy Top”, por lo que se requiere un diagnóstico correcto y rápido, pues ambos problemas pueden ocasionar pérdidas muy grandes en un periodo de tiempo muy corto. Otro elemento que se debe considerar es el zinc, si los análisis de suelo detectan una deficiencia. Dados los requerimientos mencionados de microelementos por parte de este cultivo, es importante valorar la necesidad de realizar aplicaciones al follaje de los mismos productos que los aporten en un alto porcentaje. Para definir la dosis debe recurrir a las especificaciones del producto.

2.3. Riego

Consiste en la aplicación de agua a los cultivos por medio de la intervención humana, utilizando para esto, diferentes técnicas y materiales.

Para lograr humedecer el suelo a la profundidad deseada mediante el riego, éste debe estar dotado de una serie de elementos básicos tales como: fuente de agua con todas sus características (ubicación, calidad y caudal), fuente de energía, al conducción del agua y accesorios varios (Villalobos, 2016).

2.3.1. Riego por gravedad

El riego por gravedad o riego por superficie fue la primera forma que usó el ser humano para restituir el agua al suelo. Consiste en cubrir toda la superficie que se desea regar, o parte de ella, con una lámina determinada de agua.

De acuerdo con Villalobos (2016) el nombre de riego por gravedad se debe a que el agua se desplaza en la superficie del suelo a causa de la fuerza de gravedad y no por medios mecánicos. También recibe el nombre de riego superficial, porque es a través de la superficie del suelo, desde la parte superior del terreno en un punto de derivación, que el agua fluye por la superficie, cubriéndola en forma de láminas del orden de 10 cm a 15 cm. Esta distribución se puede ver muy afectada si el terreno no está bien nivelado y presenta pequeños cambios de pendiente.

Una condición elemental para obtener buena distribución del agua es que la pendiente del terreno y las variaciones topográficas sean mínimas, con el fin de evitar costos excesivos de nivelación.

Éste método se ha empleado desde la antigüedad y es el tradicional en la agricultura en las zonas áridas. Mundialmente es el más utilizado, a pesar del surgimiento de los plásticos, el cual favoreció el desarrollo de otros métodos de riego más eficientes como la aspersion, microaspersion y el goteo. Sin embargo, mantiene su vigencia por el tipo de cultivos y de suelos donde se emplea el riego por gravedad; otra razón es que ha mejorado su eficiencia gracias al uso de la tecnología láser para nivelar las tierras y la aplicación de nuevas modalidades de manejo del agua, como es el riego por impulsos (Valverde y Villalobos, 2016).

2.3.2. Riego por aspersion

El riego por aspersion puede definirse, según Valverde y Villalobos (2016), como la aplicación de agua al campo en forma de lluvia artificial, mediante la cual se riega un cultivo, con la ventaja de que esa “lluvia” es controlada en su manejo, tanto en tiempo como en intensidad. El agua es conducida por presión a través de la tubería que puede ser de metal,

Cloruro de polivinilo (PVC) o polietileno y luego sale al exterior por orificios llamados aspersores, microaspersores o microjets.

El riego por aspersión se refiere a la utilización de emisores de tamaño pequeño, que lanzan caudales mucho menores que los aspersores comunes y que operan a presiones muy bajas, con gran economía de agua y eficiencia de operación muy alta.

2.3.2.1. Características de los sistemas de riego por aspersión

- a. Operación dinámica (hay movimiento del cuerpo).
- b. Control y variación del diámetro de humedad con y sin cambiar el caudal del emisor.
- c. Patrón de humedad amplio (diámetro hasta 10 m).
- d. Posibilidad de reducir la precipitación a 2 mm/h o 20 m³/ha/h.
- e. Presión de trabajo de 1,4 a 2 atm (20-28 PSI).
- f. Las gotas de agua de mayor diámetro que las gotas del microjet bajo la misma presión.
- g. Protección contra insectos (pop up).
- h. Recomendado para utilizarse en:
 - a) Árboles grandes y adultos.
 - b) Distanciamiento mayor de la plantación.
 - c) Riego en superposición.
 - d) Suelos de baja infiltración.

2.3.2.2. Tipos de aspersores

Existen diferentes tipos de aspersores en el mercado, en el cuadro 3 a continuación se resumen los tipos de aspersores y sus características.

Cuadro 3. Características de los tipos de aspersores

Tipo de aspersor	Aspersores	Microjet (difusor)	Nebulizador
Tipo de distribución	Giratorio	Estático Dinámico	Estático
Distribución del agua	Círculo: Completo Parcial	Círculo: Completo Parcial y Rayos	Círculo: Completo
Presión de trabajo	Normal 2 atm (28 PSI)	Baja 1,4 atm (20PSI)	
Grado de compensación	Común y Auto-compensado	Común y Auto-compensado	Común

Fuete: Valverde y Villalobos, 2016.

2.3.2.3. Ventajas del riego por aspersión

- a. Economía de agua: especialmente en huertos de frutales en riego individual por árbol.
- b. Adaptación del patrón de humedad al desarrollo del follaje del árbol, llegando al 70% del área del distanciamiento de la plantación.
- c. Control del radio de humedad a través del intercambio de boquillas, elementos giratorios, distribuidores, ángulo del emisor, etc.
- d. Control económico de hierbas no deseadas debido a que la mayor área humedecida se encuentra directamente debajo del árbol.
- e. No interrumpen las labores del cultivo. Los caminos y pasillos quedan secos.
- f. Posibilidad de efectuar riego durante las 24 horas debido a que el follaje de los árboles reduce la influencia negativa del viento.
- g. El sistema es fijo por lo que requiere de poco trabajo.
- h. Previene el humedecimiento del follaje de los árboles en riego subarbóreo.
- i. Ahorro de energía, ya que funciona a presiones de trabajo de 14- 20 mca (20-28 PSI).
- j. Alta eficiencia de riego (uniformidad) de hasta 90%.
- k. Caudal específico bajo, lo que permite regar más área en forma simultánea.
- l. Control visual del funcionamiento (mejor visión desde la distancia).
- m. Menor riesgo de obstrucción que los goteros.
- n. Control del microclima para protección en caso de heladas, altas temperaturas y humedad relativa baja.

- o. Alta gama de conexiones y combinaciones de adaptación que le dan gran versatilidad.

2.3.2.4. Desventajas del riego por aspersión

- a. El sistema es estático, con un alto costo en comparación con el sistema de aspersión móvil.
- b. Sujeto a daños mecánicos, por maquinaria, trabajadores y animales, etc.
- c. Sensibilidad a la posición vertical de trabajo para garantizar el buen funcionamiento.
- d. Funcionamiento se ve afectado por la presencia de hierbas no deseadas.
- e. Problemas de obstrucción y/o interrupción por insectos, arañas, etc. que penetran al emisor.
- f. Humedecimiento del tronco del árbol. Esto es foco de enfermedades y necrosis.
- g. Sensibilidad al viento, especialmente en áreas desprotegidas o en plantaciones jóvenes.
- h. Susceptible al robo.
- i. Requiere tratamiento de filtrado de las aguas.

2.3.2.5. Número y distribución de los emisores de agua por planta

Recomiendan Valverde y Villalobos (2016) lograr una buena distribución de humedad en el área radical. La zona de suelo mojada debería ser similar al área de goteo de la planta. Una buena distribución de agua se logra cuando toda esta área se encuentra uniformemente húmeda, sin que se produzcan zonas sobresaturadas, o en caso contrario, zonas secas entre las áreas de mojado de cada emisor. En el primer caso, se pueden producir problemas patológicos de la raíz como *Phytophthora* spp., mientras que en el segundo caso la planta no recibe suficiente agua.

Como criterio general, citado por Valverde y Villalobos, (2016) para lograr una buena distribución de agua en una planta adulta se requieren aproximadamente de 4 emisores, con los dos más cercanos al tronco a una distancia de 25 - 40 cm y los aledaños a éstos a una distancia similar de los primeros. Sin embargo, es posible mejorar aún más la cobertura con la utilización de dos cintas de riego, uno a cada lado de la fila de plantas. El número y distanciamiento exacto dependerá básicamente de la textura del suelo y el volumen de descarga de los emisores.

La ubicación de los emisores es especialmente clave durante las etapas iniciales del cultivo, pues si se ubican muy lejanos de la planta, el desarrollo inicial de la misma será pobre, dando al traste con su potencial productivo.

Finalmente, es importante recordar que un riego efectivo debe lograr un bulbo de mojado en el perfil del suelo lo suficientemente grande para abarcar todo el volumen radical de la planta. En vista de que el volumen de suelo ocupado por las raíces varía con respecto a la edad de la planta, es importante verificar regularmente esta relación.

2.3.3. Distribución de la tubería

De acuerdo con Valverde y Villalobos (2016) dentro de los parámetros a utilizar cuando se realiza un diseño de riego, se encuentra la distribución de la tubería, la cual, se debe de colocar en lo posible la tubería principal en el sentido de la máxima pendiente, esta hace que la tubería lateral tenga presiones más uniformes.

2.3.3.1. Dispositivos de control

a) Válvulas

El diseño de redes hidráulicas presurizadas para infraestructuras de riego no se limita a la elección óptima del diámetro y material de la red de conducción, a las estaciones de bombeo o a las dimensiones y cotas de los depósitos. Es necesario garantizar que los sistemas van a funcionar bajo cualquier circunstancia y en las condiciones específicas que se requieran. Para lograrlo, se necesitan dispositivos precisos y eficientes, que permiten regular y controlar las redes de distribución (Regaber, 2018).

b) Válvulas de control direccional

Se utiliza para controlar y cambiar la dirección del flujo del fluido, en el sistema hidráulico, válvula de control direccional, incluyendo la válvula de retención, válvula de llenado previo, válvula direccional solenoide hidráulico, válvulas direccionales de carrete hidráulicas y la válvula de cierre, (Bermad, 2017).

c) Válvula de control de presión

Se utiliza para controlar y ajustar la presión de fluido en el sistema hidráulico, (Bermad, 2017).

d) Válvula de control de flujo

Se utiliza para controlar y ajustar la velocidad de flujo del fluido. Se denomina válvula de control de flujo.

2.3.3.2. Filtrado

El filtrado es un mecanismo de separación de partículas de diámetros obstructivos para el sistema de riego. Uno de los principales problemas que se presenta en los sistemas de riego, es la obstrucción que puede presentarse en las líneas de tuberías y los emisores. El tipo de filtro que se coloque va a depender de la calidad del agua. Existen diferentes tipos de filtros:

a) Filtro de anillos

De acuerdo con Betrisa (2010), es un tipo de filtro que realiza filtración en profundidad y cuyo elemento filtrante está compuesto de una pila de anillos ranurados o con superficie rugosa, entre cuyas caras quedan retenidas las partículas contaminantes. Tienen un funcionamiento especialmente positivo frente a algas y material orgánico.

b) Filtro de malla

Aunado a lo anterior Betrisa (2010), determina que es un tipo de filtro que ofrece filtración en superficie, es decir, las partículas contaminantes quedan retenidas en la superficie de la malla, que es el elemento que realiza propiamente la filtración. Para aguas con sólidos en suspensión, como las procedentes de pozos, por ejemplo, estos presentan una gran eficiencia de filtrado.

2.3.3.3. Zanjas para la instalación de tuberías

Las tuberías se instalan sobre la superficie o enterradas, dependiendo de la topografía, clase de tubería y tipo de terreno. Para obtener la máxima protección de las tuberías se recomienda que éstas se instalen en zanjas. Además de la protección contra el paso de vehículos, el tipo de

instalación que se adopte, debe considerar otros factores relacionados con la protección de la línea, como son el deterioro o maltrato de animales, la exposición a los rayos solares y variación de la temperatura (Betrisa, 2010).

2.3.3.4. Instalación de tuberías

Deberá colocarse una cama de material seleccionado libre de piedras, para el asiento total de la tubería, de tal forma que no se provoquen esfuerzos adicionales a ésta. La plantilla o cama consiste en un piso de material fino, colocado sobre el fondo de la zanja, que previamente ha sido arreglado con la concavidad necesaria para ajustarse a la superficie externa inferior de la tubería, en un ancho cuando menos igual al 60% de su diámetro exterior. El resto de la tubería debe ser cubierto hasta una altura de 30 cm arriba de su corona con material granular fino colocado a mano y compactado cuidadosamente con equipo manual y humedad óptima, llenando todos los espacios libres abajo y adyacentes a la tubería. Este relleno se hace en capas que no excedan de 15 cm de espesor. (Betrisa, 2010).

2.3.3.5. Equipo de bombeo

El bombeo es un dispositivo mecánico diseñado para impulsar agua de un lugar a otro aplicando cierta presión y velocidad, gracias a esto se logra transportar el agua en contra de la gravedad.

Los parámetros para seleccionar el equipo de bombeo son:

a. Curvas características para seleccionar una bomba: Según lo citado por Hydro Environment (2018), las curvas de las bombas son presentaciones gráficas que relacionan la presión, el caudal y el rendimiento de las mismas; en algunos casos se agrega información sobre la potencia requerida y la altura de succión.

b. Curva Presión – Caudal: En esta curva se representa en el eje “y” la presión total que genera la bomba y en el eje “x” el caudal, las unidades de presión generalmente son metros de columna de agua como libra por pulgada² (psi) y las de caudal litros por minuto (l/min), galones por minuto (gpm) y metros cúbicos por minuto (m³/min). Esta curva tiene pendiente negativa,

indicando la relación inversa que existe entre presión y caudal. Estas curvas se presentan para diferentes diámetros de impulsor.

c. Curva Caudal – Potencia: Esta curva relaciona el caudal elevado con la potencia que consume la bomba. La menor potencia se consume con el caudal mínimo. En grandes equipos de bombeo, para disminuir el consumo de energía los equipos parten con las válvulas cerradas y las abren poco a poco.

d. Curvas de eficiencia: Las curvas de eficiencia normalmente se trazan sobre las curvas de caudal contra potencia, naturalmente que esta curva es muy importante ya que a mayor eficiencia significa menor consumo de combustible o energía eléctrica para conseguir un mismo efecto, (HYDRO ENVIRONMENT, 2018).

2.3.3.6. Fertirrigación.

Una forma de aplicación eficiente de fertilizantes es en solución de agua aplicada a través de los sistemas de riego ya que Domínguez (1993) citado por Soto (2014) dice que el fertirriego es el aprovechamiento de los sistemas de irrigación utilizando el agua como vehículo para regar una solución nutritiva de manera continua y controlada en el cultivo deseado.

Este sistema es poco aplicado en el cultivo del plátano y papaya. En opinión de Soto (2014) presenta múltiples ventajas, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

a. Ofrece los fertilizantes en una forma soluble que facilita su absorción y aprovechamiento por parte de las plantas.

b. Se reducen las pérdidas por volatilización y lixiviación al hacerse aplicaciones en el momento oportuno y lugar preciso.

c. Facilita la corrección rápida de síntomas de deficiencia.

Pero sus numerosas ventajas no dejan de lado la necesidad de operarse adecuadamente ya que pueden presentarse problemas tales como incremento en la salinidad del agua y el suelo regado y corrosión de los equipos de riego.

Existen tres sistemas de riego aptos, de los cuales solo uno es el más apropiado para la fertirrigación:

a) Riego por goteo (localizado de alta frecuencia)

Con este sistema el agua se aplica de forma dirigida y localizada en la zona de aprovechamiento radical de los cultivos; implica un humedecimiento parcial del área total de riego, el resto del suelo no se humedece, lo cual provoca una modificación en el patrón de crecimiento de la planta, haciéndose más activa en los volúmenes de suelo humedecido, (Soto, 2014).

2.3.3.7. Inyección de insecticida, fungicida y herbicida.

La Fertirrigación con pesticidas también le permite a los productores incrementar sus rendimientos y calidad de sus cultivos ya que la aplicación de cualquier químico ante un ataque masivo de cualquier plaga puede ser llevada a cabo de manera inmediata sin necesidad de esperar mucho tiempo para que el suelo se seque y la maquinaria pueda entrar, esto disminuye el daño y reduce la cantidad de insecticida que debe ser aplicado, (Burt et al, 1998).

Desventajas de la fertirrigación citadas por Burt et al, (1998):

a. La fertirrigación está generalmente limitada a pivotes centrales, movimientos lineales o sistemas de goteo/microirrigación ya que estos sistemas no ocupan de personal en el campo para ser operadas.

b. La inyección de químicos requiere un mejor control en medidas para la inyección de los productos y hacer que dicha operación sea segura, necesita que los equipos estén debidamente calibrados y funcionando apropiadamente.

c. Si los sistemas de fertirrigación no son utilizados de la manera correcta pueden traer problemas de contaminación en los mantos freáticos.

Inyección de agroquímicos

Algunos factores deben ser considerados cuando se hace la selección del agroquímico citados por Burt et al (1998).

a. Solubilidad: agroquímicos con buena solubilidad se mueven a mayor profundidad con el agua irrigada.

b. Adsorción: Los agroquímicos son sujetados en arcillas y materia orgánica en diferentes grados.

c. Volatilidad: Esto representa la probabilidad de que el químico se transforme en gas y se pierda en el aire. Si se volatiliza no está disponible para las plantas por lo que no será aprovechado.

2.4. Estudios necesarios para el diseño de un sistema de riego

2.4.1 Climatología

a) Evapotranspiración de referencia (ET_0)

El consumo de agua de un cultivo es referido a la evapotranspiración de referencia y cuenta con modelos de cálculo por ejemplo Thornthwait y Pennman (1948) citados por Valverde y Villalobos (2016), desarrollaron el concepto de evapotranspiración potencial (ETP) para establecer la demanda evaporativa de la atmósfera en función solamente de factores climáticos, sin considerar factores de suelo, cultivo o manejo. Dicho término se define como la evaporación de una superficie extensa de un cultivo verde, uniforme, de poca altura, sin restricciones de agua que cubre totalmente el suelo pero no considera las características de la superficie de referencia utilizada.

Para efectos prácticos, ambos conceptos se pueden considerar sinónimos, sabiendo que la evapotranspiración de referencia (ET_0) es la que se usa para el cálculo de las necesidades hídricas.

La evapotranspiración de referencia (ET_0) permite comparar valores medidos o estimados en otras localidades y épocas del año, debido a que se refiere a una evapotranspiración bajo la misma superficie de referencia. La evapotranspiración de referencia (ET_0) varía según las

condiciones del clima (radiación, temperatura, humedad, viento, etc.) y se expresa en mm de lámina de agua por día (mm/día), (Valverde y Villalobos, 2016).

b) Coeficiente de cultivo

Según Valverde y Villalobos (2016) el coeficiente de cultivo relaciona la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) con la evapotranspiración máxima del cultivo (ET_c), cuando el aporte de agua satisface las necesidades. Conforme el cultivo se va desarrollando, el área del suelo que cubre, su altura y área foliar van aumentando en una forma progresiva. Esto provoca variaciones en la evapotranspiración para cada etapa de desarrollo del cultivo reflejadas en el valor de K_c . Debido a esas variaciones en las características propias de cada cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, el coeficiente K_c cambia desde la siembra hasta la cosecha.

Debido a que el coeficiente K_c , representa un promedio de la evaporación en el suelo y la transpiración, este procedimiento se utiliza para estimar la ET_c en periodos semanales o mayores, a pesar de que los cálculos pueden realizarse diariamente. El valor máximo ocurre durante la floración; luego, se mantiene durante la fase media y finalmente decrece durante la maduración. Lo más recomendable es disponer en valores de K_c para cada cultivo, obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembra y etapas fenológicas; pero en ausencia de esta información, es válido usar valores referenciales de K_c (Valverde y Villalobos, 2016).

El ciclo fenológico de cada cultivo se puede dividir en cuatro etapas principales: inicial, desarrollo, mediados de temporada y final de temporada.

Las diferentes etapas fenológicas citadas por Valverde y Villalobos (2016) son:

a. Etapa inicial: comprende el periodo entre las fechas de siembra y el momento cuando el cultivo cubre aproximadamente 10% del suelo. Su duración depende del cultivo, fecha de siembra y el clima. En cultivos permanentes se toma en cuenta el momento en que aparecen las primeras hojas después de la germinación.

b. Etapa de desarrollo: se extiende desde que la cobertura del suelo es de 10% hasta alcanzar la cobertura completa, generalmente al inicio de la floración. En cultivos de hilera, ocurre cuando las hojas comienzan a traslaparse y se produce un sombreado total, o cuando las plantas casi alcanzan su tamaño máximo. En algunos cultivos, se toma como referencia la floración como un índice más sencillo.

c. Etapa de mediados de temporada: contempla desde la cobertura completa hasta el inicio de la madurez, se caracteriza por el amarillamiento o senescencia de las hojas, su caída, color café del fruto, etc. hasta reducir la evapotranspiración del cultivo en relación con la ET_0 de referencia. Es la etapa más larga para los cultivos permanentes y muchos cultivos anuales, pero corta para los cultivos hortícolas de consumo fresco como las lechugas. El coeficiente K_c alcanza su valor máximo en este periodo y es relativamente constante para la mayoría de los cultivos.

d. Etapa de finales de temporada: la etapa final o tardía de crecimiento comprende el periodo entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores K_c y ET_c finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas. El valor de K_c en la etapa final (K_{cfin}), refleja el efecto de las prácticas de cultivo y el manejo del agua. Si el cultivo es regado frecuentemente hasta el momento de su cosecha en fresco, el valor K_{cfin} será alto. Si se permite la senescencia y secado del cultivo en el campo antes de la cosecha, el valor de K_{cfin} será bajo.

2.4. Suelo

De acuerdo con Villalobos (2004) existen tres formas de agua que se presentan inmediatamente después de un riego o un fuerte aguacero. La primera ocurre cuando el agua penetra en el suelo debido a las fuerza de gravedad, mientras ocupa todos los poros y desplaza el aire, la segunda forma del agua queda retenida por las fuerzas de adhesión y cohesión; después, cuando el agua percola y penetra las capas profundas del suelo se le llama agua gravitacional y por ultimo tenemos el agua higroscópica.

Para determinar la disponibilidad de agua en los suelos es necesario definir límites de contenido de humedad relacionados directamente con la textura, conocidos citados por Valverde y Villalobos (2016) como:

a) Capacidad de campo: (CC)

Se presenta cuando el suelo está totalmente mojado, pero escurrido. Suelos de texturas medias aptos para riego alcanzan ese estado después de 24 a 48 horas de una lluvia fuerte o de un riego pesado. En ese momento, se restablece la aireación del suelo y es cuando el agua está más fácilmente disponible para la planta.

b) Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de humedad presente en el suelo, a partir del cual las plantas inician su marchitamiento y no recuperan su turgencia, aunque sean colocadas en un estado donde prevalezca la humedad. En esta condición, el agua está retenida a una tensión entre 13 y 15 atmósferas. El agua se debe aplicar antes de llegar a este punto,

c) Agua útil o aprovechable

El agua útil o aprovechable es aquella que la planta puede usar para su desarrollo. Se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Si no es posible determinar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente por un método directo, se puede hacer uso de cuadros elaborados con valores aproximados en función de la textura del suelo. No es conveniente permitir que el suelo alcance el PMP, para ello se establece un porcentaje de agotamiento de humedad específico para cada cultivo.

En investigaciones llevadas a cabo por Villalobos (2004), con el cultivo de chile dulce bajo riego por goteo y con fertirriego, se obtuvieron los mejores resultados cuando el agotamiento del agua útil era de 25%.

d) Infiltración

La infiltración consiste en la penetración de agua en el suelo al aplicar una lámina de agua. Existen tablas con valores de infiltración en función a la textura del suelo, prácticas solo cuando definitivamente no se puede realizar las pruebas de campo. En el cuadro 4, se indican valores de infiltración básica según tipo de suelo.

Cuadro 4. Infiltración básica, según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Infiltración en milímetros por hora (mm/hora)
Arenoso	Más de 30
Franco – Arenoso	20 – 30
Franco	10 – 20
Franco – Arcilloso	5 – 10
Arcilloso	1 -5

Fuente: Fuentes, 1998 citado por Villalobos, 2016

2.5. Proceso de diseño

De acuerdo con Masis (2011) nos explica que antes de realizar el diseño de un determinado sistema de riego por aspersión, se debe conocer cierta información necesaria para asegurar la eficiencia en el diseño. En este proceso se conoce el diseño agronómico que es el que lleva implícito la evapotranspiración potencial, las necesidades de riego y frecuencia de riego y el diseño hidráulico toma en cuenta desde la selección de aspersores hasta la determinación del sistema de bombeo.

2.5.1. Descripción topográfica

Según Masis (2011) afirma que es indispensable conocer el plano topográfico del terreno donde se va a realizar el diseño de riego, pues el mismo muestra la topografía del terreno, dando a conocer diferencias de cotas, lo cual es decisivo para seleccionar el tipo de sistema de riego que mejor se adapte a la topografía del terreno (sea un sistema fijo o móvil) y definir además la posición adecuada de las tuberías sobre el terreno.

2.5.2. Necesidades de riego

La lámina de riego se refiere a la forma de expresar la cantidad de agua que se encuentra en el suelo bajo diferentes condiciones; determinan la dosis de riego, es decir, el agua aplicada por unidad de área (Valverde y Villalobos, 2016).

Con estos parámetros más el peso específico aparente del suelo y la profundidad de raíces del cultivo, se puede establecer la lámina máxima de riego o capacidad de almacenamiento del agua de ese suelo. Al afectar dicha lámina con un porcentaje de agotamiento y con una eficiencia de riego, se definen las láminas o dosis de riego netas y brutas. Existen diferentes láminas de riego, a continuación se definen cada una de ellas.

a) Lámina máxima

Se calcula mediante la ecuación (1).

$$LMx = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * Pe_{ap} * Pr \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

LMx: Lámina máxima, en cm.

CC: Capacidad campo, dato en porcentaje, en peso de suelo seco.

PMP: Punto de marchitez permanente, dado en porcentaje, peso de suelo seco.

Pe_{ap}: Peso específico aparente, en gr/cm³.

Pr: Profundidad de raíces del cultivo, en cm.

b) Lámina neta

Se utiliza con el propósito de evitar que el suelo alcance el PMP; para ello, es necesario recurrir a la práctica del porcentaje de agotamiento de la humedad disponible, el cual permite al cultivo extraer el agua sin mucho esfuerzo hasta cierta tensión, específica para cada cultivo. El cálculo de la lámina neta se hace con la siguiente fórmula:

$$LN = \frac{LMx * \% agot}{100} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Ln: Lámina neta, en centímetros

LMx: Lámina máxima, en centímetros

% agot: Porcentaje de agotamiento.

Debido a que los suelos no son uniformes, y presentan características físicas diferentes en los horizontes que los conforman, es conveniente determinar su profundidad y realizar análisis físicos de cada uno para calcular las láminas máxima y neta en cada horizonte hasta la profundidad radicular requerida y luego obtener la lámina total sumando cada valor (Valverde y Villalobos, 2016).

c) Lámina bruta

Tomando en cuenta la eficiencia total del sistema de riego para determinar la lámina bruta. La eficiencia varía mucho dependiendo del método de riego utilizado, siendo más eficiente los de riego localizado.

Para el cálculo de la lámina bruta, se aplica la siguiente ecuación:

$$LB = \frac{LN}{Efic.total} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

LB: Lámina bruta, en centímetros

Ln: Lámina neta, en centímetros

Efic. Total: Eficiencia, en forma decimal.

Algunas de las eficiencias propuestas por Villalobos (2006) basado en Grassi (2000), se detallan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Eficiencia de riego según el método utilizado

Método de riego		Eficiencia en %
Melgas rectas	con pendiente	60 - 75
Melgas sin pendiente		60 - 80
Desbordamientos		50 - 55
Surcos		55 - 70
Aspersión		75 - 80
Goteo		85 - 90

Fuente: Villalobos M, 2006

c) Frecuencia de riego

Después de calculadas las láminas o dosis de riego, es necesario determinar la frecuencia de riego; es decir, cada cuanto se debe reponer el agua consumida. Para esto, es preciso conocer la evapotranspiración diaria del cultivo, (Valverde y Villalobos, 2016).

Normalmente, la frecuencia de riego no da números enteros, por lo que se redondea al número inmediato menor. Por esta razón, es recomendable recalcular la lámina neta y la lámina bruta con la siguiente fórmula.

$$LN = Fr * ETr \dots\dots\dots (4)$$

$$LB = \frac{LN}{Efic.total} \dots\dots\dots(5)$$

La frecuencia se calcula con la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{LN}{Efac} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

Fr: frecuencia de riego, en días.

LN: Lámina neta, en milímetros

Efac: Eficiencia de aplicación (0,80 – 0,85 para riego por aspersión)

d) Ciclo de riego (Cr)

El ciclo de riego es el número entero de días durante el cual se vuelve a regar una parcela determinada. El ciclo de riego debe incluir un factor de seguridad en caso de que se presente algún imprevisto como una falla en el sistema (bombeo, tuberías, micros...), o bien para poder realizar ciertas labores agrícolas. Por lo tanto, el ciclo de riego debe ser menor o a lo sumo igual a la frecuencia de riego (intervalo de riego). Se considera conveniente la planificación del sistema con 1 o 2 días de paro (DP), durante cada intervalo de riego (Valverde y Villalobos, 2016).

$$Cr \text{ (días)} = Ir \text{ (ajustado)} - DP \text{ (días)} \dots (7)$$

2.5.1. Conceptos de diseño

Para diseñar un sistema de riego por aspersión, es necesario determinar los siguientes parámetros:

2.5.1.1. Eficiencia de riego por aspersión

Para diseñar es necesario conocer la eficiencia de aplicación de riego, la cual se debe asumir utilizando información dada por la literatura. En el cuadro 6, se indican eficiencias recomendadas para riego por aspersión, en función de la evapotranspiración de la zona, láminas por aplicar y velocidad del viento.

Cuadro 6. Eficiencias de aplicación para diferentes láminas y condiciones climáticas.

Lámina de agua en milímetros	Evapotranspiración máxima en milímetros por día (mm/día)		
	< 5	5-7,5	>7,5
Velocidad del viento 6,4 km/h			
25	68%	65%	62%
50	70%	68%	65%
100	75%	70%	68%
125	80%	75%	70%
Velocidad del viento 6,4 – 16 km/h			
25	65%	62%	60%
50	68%	65%	62%
100	70%	68%	65%
125	75%	70%	68%

Fuente: Saldarriaga (2008) citado por Villalobos (2016).

2.5.1.2. Grado de aplicación o intensidad de aplicación

Es la cantidad de agua que descarga el aspersor por unidad de tiempo; para su cálculo, se debe conocer el caudal del aspersor y el espaciamiento utilizado entre aspersores y laterales.

La distribución de los aspersores en el campo puede ser en cuadro, rectangular o triangular. El espaciamiento entre laterales (El) es la separación entre estos, mientras que el espaciamiento entre aspersores (Ea) es la separación entre un aspersor y otro en el lateral. Cuando se mencione espaciamiento, el primero se refiere al espaciamiento entre laterales y luego al espaciamiento entre aspersores, los más utilizados son: 6 m x 6 m, 12 m x 6 m y 12 m x 12m.

El caudal máximo del aspersor está definido por el valor de infiltración básica (Ib) y por los espaciamientos, según la ecuación (8)

$$qa = \frac{(Ib * Ea * El)}{1,000} \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

qa : caudal del aspersor en metros cúbicos por hora

Ib : infiltración básica en milímetros por hora

Ea : espaciamiento entre aspersores en metros

El : espaciamiento entre laterales en metros

Para el cálculo de la intensidad de aplicación se utiliza la ecuación (9)

$$I = \frac{(1.000 * Q)}{Ea * El} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

I : intensidad de aplicación en milímetros

$Ea * El$: Espaciamiento entre aspersores y laterales

Q : caudal en metros cúbicos por hora

2.5.1.3. Distribución de la tubería

Según Villalobos (2016) en el diseño de un sistema de riego por aspersión, se proyecta una tubería de conducción que inicia en el sitio de captación y una tubería de distribución, a partir de la cual salen las líneas laterales o regantes, que es donde se instalan los aspersores. La tubería de distribución se debe colocar en el sentido de la máxima pendiente, para que la tubería lateral tenga presiones más uniformes, ya que va trazada en forma perpendicular a la distribución y en lo posible, a nivel.

La longitud de los laterales está limitada por el máximo porcentaje de pérdidas por fricción admitido, el cual es de 20% de la presión media de operación del aspersor.

2.5.2. Hidráulica de riego por aspersión

Para proceder al diseño del sistema de riego se debe recurrir a diversas ecuaciones para calcular el diámetro de la tubería, a partir del cálculo de las pérdidas por fricción. El diámetro debe ser suficiente para el caudal calculado de manera que las pérdidas por fricción y la velocidad se mantengan dentro de los límites adecuados (Valverde y Villalobos, 2016).

La ecuación de continuidad se expresa mediante la ecuación (10)

$$Q = V * A \dots\dots\dots (10)$$

$$V = Q/A$$

El área se formula como:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Sustituyendo la expresión del área en la de la velocidad, se tiene:

$$A = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Despejando el diámetro

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{V * \pi}} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

D: diámetro (m)

Q: caudal que circula por la tubería (m^3/S)

V: velocidad en la tubería (m/s)

Para determinar las pérdidas de carga debido a la fricción, se utiliza la ecuación de Hazen Williams la cual se expresa como:

$$hf = 1,13 * 10^9 * (Q/C)^{1,852} * L * D^{-4,872} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

hf: pérdida de carga debido a la fricción (mca)

Q: caudal de la tubería (m^3/h)

C: para cloruro de Polivinilo (PVC) es de 150, para polietileno 140.

D : diámetro interno de la tubería (mm)

Generalmente el problema consiste en saber que diámetro utilizar, por lo que si se conoce la máxima pérdida de carga que se puede dar en la tubería, de la ecuación (12) se despeja el diámetro y se calcula éste. Una vez que se tiene el valor de diámetro interno, se busca los que estén disponibles en el mercado, tomando el inmediato superior al obtenido, la ecuación (13) muestra el resultado del despeje realizado de la ecuación (12).

$$D = \left(\frac{1,131 * 10^9 * Q^{1,852} * L}{hf * C^{1,852}} \right)^{0,20525} \dots\dots\dots (13)$$

En cuanto a tuberías con salidas se debe tomar en cuenta el número de salidas, lo cual está definido por el factor F , se puede determinar este factor bajo diferentes condiciones de la tubería, refiriéndose al número de salidas y ubicación del primer aspersor. La ecuación para determinar pérdidas con tuberías con salidas se define como:

$$hf = 1,131 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} * L * D^{-4,872} * F \dots\dots\dots (14)$$

Este factor F se puede calcular con la ecuación que relaciona, el número de salidas (N) y el factor dado para el material con el que se trabaja (m), que para el plástico es 1,760 y para aluminio es 1,852.

$$F = \frac{2N}{2N-1} * \left(\frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right) \dots\dots\dots (15)$$

O ya bien obtenerlo directamente de datos estandarizados en tablas, tal y como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Coeficientes F para laterales de aluminio y plástico

Número de salidas	Plásticos (1,760)			Aluminio (1,852)		
	F1a	F2b	F3c	F1a	F2b	F3c
5	0,469	0,337	0,410	0,457	0,321	0,396
10	0,415	0,350	0,384	0,402	0,336	0,371
12	0,406	0,352	0,381	0,393	0,338	0,367
15	0,398	0,355	0,377	0,385	0,341	0,363
20	0,389	0,357	0,373	0,376	0,343	0,360
25	0,384	0,358	0,371	0,371	0,345	0,358
30	0,381	0,359	0,370	0,368	0,346	0,357
40	0,376	0,360	0,368	0,363	0,347	0,355
50	0,374	0,361	0,367	0,361	0,348	0,354
100	0,369	0,362	0,366	0,356	0,249	0,352
200	0,366	0,363	0,365	0,353	0,350	0,352

Fuente: Velásquez (2002) citado por Masis (2011).

2.5.2.1. Diseño de laterales

El diámetro del tubo lateral y su longitud debe ser escogido aprovechando los cambios de elevación y las pérdidas por fricción, dentro de los límites establecidos. Así mismo se ha fijado como regla que la diferencia de descarga entre dos aspersores extremos en el lateral no deberá exceder el 10%. Lo anterior implica que para tener una diferencia máxima de 10% en la descarga la diferencia de presión estática entre el primer y último aspersor del lateral no deberá exceder el 20% de la presión de operación del aspersor (Zúñiga, 2004).

Según Villalobos (2009) la pérdida admisible va a depender de la posición en que esté el lateral, ya sea cuesta arriba, cuenta abajo o a nivel

a. Lateral colocado a nivel:

$$\text{Pérdida máxima admisible} = 0,2 * P_o \dots \dots \dots (16)$$

Po: presión de operación del emisor.

b. Lateral subiendo:

$$\text{Pérdida máxima admisible} = 0,2 * P_o - \Delta Z \dots (17)$$

P_o : presión de operación del emisor.

ΔZ : la diferencia de altura presente en la línea del lateral.

c. Lateral bajando:

$$\text{Pérdida máxima admisible: } 0,2 P_o + \Delta Z \dots (18)$$

P_o : presión de operación del emisor.

ΔZ : la diferencia de altura presente en la línea del lateral

Presión a la entrada del lateral, en este caso se debe tomar en cuenta si los laterales están colocados en terreno plano o si existe pendiente, pues si hay diferencia de altura entre la entrada y final del lateral (ΔZ) se debe sumar (si lateral sube) o restar (si el lateral baja) el ΔZ en las ecuaciones para cálculo de presión en los laterales.

d. Para lateral sobre terreno plano:

$$P_e = P_o + 0,75 * h_f + h_{el} \dots (19)$$

Dónde:

P_e : Presión de entrada del lateral (mca)

P_o : Operación del operación del aspersor (mca)

h_f : pérdida por fricción en el lateral (mca)

h_{el} : altura de elevador (m)

e. Para laterales con pendiente

$$P_e = P_o + 0,75 * h_f + h_{el} \pm 0,38 * \Delta Z \dots (20)$$

Se puede realizar la combinación de diámetros en las tuberías laterales, pues algunas veces se coloca un diámetro determinado y las pérdidas por fricción son mucho menores que las admisibles y si se coloca el diámetro comercial inferior las pérdidas resultantes sobrepasan las admisibles con lo que se puede llevar a cabo una combinación de diámetros que permita estar lo más cercano posible a lo admisible. Para colocar dos diámetros diferentes, se debe definir qué longitud se quiere de cada diámetro y calcular las pérdidas que ocurren, si estas son más grandes que las admisibles, se aumenta la longitud de la tubería de mayor diámetro y recalculan las pérdidas, esto hasta estar conforme con lo que se quiere.

Presión a la entrada del lateral se expresa en la ecuación (21)

$$P_e = P_o + 0,625 * h_f + h_{el} \pm 0,38 * \Delta Z \dots\dots\dots (22)$$

2.5.2.2. Diseño del múltiple

Es la tubería que porta los laterales de riego, y para determinar su diámetro se usan las ecuaciones ya establecidas, (Continuidad y Hazen Williams).

Como el múltiple se comporta como un lateral, para calcular la presión de entrada en éste, la cual es igual a la presión de la válvula, se aplica el mismo criterio que cuando se calcula la presión a la entrada del lateral y se expresa mediante la ecuación (23).

$$P_m = P_e + 0,75 * h_f (\text{multiple}) \pm 0,38 * \Delta Z \dots\dots\dots (23)$$

Donde:

P_m: Presión a la entrada del múltiple

P_e: presión a la entrada del lateral

La presión distal se define mediante la ecuación (24)

$$P_d = P_m - h_{f(\text{multiple})} - h_{f(\text{lateral})} - h_{el} \dots\dots\dots (24)$$

De igual forma en este caso es necesario combinar diámetros, en algunos casos para llegar con cierta presión a un punto determinado o en otros con la finalidad de consumir toda la carga disponible.

Para colocar diferentes diámetros se define la longitud que se quiere de cada diámetro y calcular las pérdidas que ocurren, si estas son más grandes que las admisibles lo que se hace es aumentar la longitud de la tubería de diámetro mayor y recalculan las pérdidas, hasta que se esté conforme con lo que se quiere. El procedimiento a seguir es:

a. Con el caudal total de la múltiple, se calculan las pérdidas por fricción, asumiendo que se tiene toda su longitud del diámetro mayor.

b. Calcular las pérdidas por fricción en la longitud que se requiere colocar el diámetro menor, pero con el caudal que lleva este tramo, el factor F de este tramo (se determina con la ecuación 15), la longitud de este tramo y asumiendo que en ese tramo el diámetro es igual al diámetro mayor.

c. La diferencia de pérdida por fricción obtenida entre los dos valores anteriores, es la pérdida de carga para el tramo de mayor diámetro.

d. Calcular la pérdida de carga para el tramo de menor diámetro con su respectivo caudal, longitud y factor F, usando el diámetro menor.

e. La pérdida total en la tubería se obtiene mediante la suma de los resultados del punto c y d.

2.5.2.3. Combinación de diámetro en tuberías sin salidas múltiples

Para combinar diámetros en este tipo de tubería, se debe conocer la longitud de la misma y el caudal a transportar, posteriormente se dispone la máxima pérdida de carga que se puede tener. Con lo anterior y mediante la ecuación de Hazen Williams, se escoge el diámetro que daría la pérdida exacta a la admisible, se seleccionan los diámetros inmediatamente inferior y superior, calculando las pérdidas por fricción en mm para m/m para ambos diámetros.

Denominando hf1 a la pérdida del diámetro mayor y hf2 a la pérdida del diámetro menor, por lo que planteando la ecuación (25) se determina la longitud que se debe poner de cada diámetro.

$$hf1 * X + hf2 * (L-X) = hf \dots \dots \dots (25)$$

Donde hf es la pérdida total admisible

Una vez que se tiene el diseño de tubería lateral y múltiple se debe determinar la presión de operación en la válvula, para un sistema sólido la presión de la válvula es igual que la presión a la entrada de la tubería.

2.5.2.4. Diseño de la tubería principal

Valverde (2004) menciona que esta tubería es la que lleva el flujo directamente a los laterales de riego con las presiones requeridas. En este caso, el diámetro de la tubería puede ser determinado directamente aplicando las ecuaciones correspondientes ya establecidas.

Existen métodos para diseñar hidráulicamente la tubería principal entre ellos se destaca, el de carga unitaria, velocidad permisible y el de porcentaje de presión de operación.

El método de carga unitaria, consiste en seleccionar un diámetro de tubería de tal forma que las pérdidas por fricción no sobrepasen un límite establecido, por ejemplo, que no se puede perder más de 2,3 (mca) en 100 m de longitud de tubería. Este límite hace que muchas veces se coloquen diámetros un poco grandes.

Como se conoce la pérdida en la tubería se aplica la ecuación de Hazen Williams para determinar el diámetro.

$$Hf = 1,131 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * L * D^{-4,872}$$

Pasando la longitud a dividir, se tiene:

$$Hf/L = 1,131 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * D^{-4,872}$$

En este caso las pérdidas por fricción están expresadas en m/m, debido a que se desea perder el valor de 0, 023 m/m:

$$0, 023\text{m/m} = \left(\frac{1,131 * 10^9 * Q^{1,852} * L}{C * D^{-4,872}} \right)$$

Si desea conocer el diámetro se tiene:

$$D = \left(\frac{1,131 * 10^9 * Q^{1,852} * L}{C^{1,852} * 0,023} \right)^{0,20525} \dots\dots\dots (26)$$

Donde:

D: diámetro (mm)

Q: caudal (metros cúbicos/h)

L: longitud de la tubería (m)

C: es 150 para PVC, 140 para polietileno.

En el método de velocidad permisible, se establecen velocidades comprendidas entre 1,5m/s y 3 m/s, se usa generalmente cuando hay una interrupción brusca del flujo y evitar problemas con golpes de ariete.

Estableciéndose el valor de velocidad máxima, se calcula el diámetro requerido, con las ecuaciones 10 y 11.

Mientras que con el porcentaje de presión de operación, se busca no tener una pérdida superior a un porcentaje establecido de la presión de operación de aspersor en la tubería principal, este porcentaje se toma comúnmente entre un 10% y 20% de la presión de operación, se aplica el mismo criterio que el método de carga unitaria (Velázquez, 2002).

Se debe considerar el espesor de pared de la tubería a usar, pues esta depende de la presión a la cual se está diseñando. Pero también existe una ecuación para determinar la cédula del tubo a usar (SDR).

$$SDR = (2S/P) + 1 \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

SDR: es la relación entre el diámetro externo de la tubería y el espesor de la pared

S: es el esfuerzo hidrostático, cuyo valor es de 140 kg/cm²

P: es la presión de trabajo de la tubería (kg/cm²)

2.5.2.5. Determinación de la potencia del motor que operará la bomba

Para determinar la potencia de la bomba, se debe determinar la pérdida de presión total que es igual a la suma de las pérdidas de carga en la tubería principal, laterales, accesorios, carga de presión requerida por los aspersores.

$$CDT = P_e + h_{f_{principal}} + h_{f_{secundarias}} + \Delta Z \dots\dots\dots (28)$$

$$HP = Q * CDT / 270 * E_f \dots\dots\dots (29)$$

Donde:

Q: caudal (m³/h)

CDT: carga dinámica total (mca)

E_f: eficiencia de la bomba (décimas)

2.6. Análisis económico

2.6.1. Pasos previos para hacer el análisis económico

Presupuesto de diseño y construcción del sistema de riego. Se realizó un cuadro en el que se estimó, para cada actividad que implique el diseño y construcción los recursos materiales a utilizar y sus costos.

a. Los recursos humanos necesarios y sus costos

b. Presupuesto de funcionamiento del proyecto: Cuadro en el que se estimen, para cada actividad que implique el funcionamiento del sistema de riego y fertirriego.

- c. los recursos materiales a utilizar y sus costos (organizados por rubros o componentes)
- d. los recursos humanos necesarios y sus costos.

2.6.2. Balance económico

Se elaboró un cuadro donde se identifican las actividades propias del proyecto de riego, aquellas que impliquen ingresos y las que impliquen egresos; permitiendo estimar un balance aproximado de costo/ beneficio del funcionamiento del proyecto, (Vera, 2015).

- a. Inversión Inicial: comprende los desembolsos que se realizan al inicio del proyecto, tanto en activos como en capital de trabajo.
- b. Los flujos que resultan de restar los egresos de los ingresos generados en cada periodo.
- c. Valor Residual: Es el valor económico estimado de todos los activos al final del horizonte de planeamiento del proyecto.
- d. Horizonte de Planeamiento: Es el número de años para los cuales se proyectan los flujos de caja.
- e. Una vez obtenidos los resultados del análisis, se procede a (1) realizar un reestudio del mismo, (2) rechazar el proyecto, (3) reconsiderarlo bajo ciertas condiciones o bien (4) pasar a la etapa siguiente de elaboración del estudio de factibilidad.

2.6.3. Valor Actual Neto (VAN)

Es el valor temporal del dinero, se considera una técnica de capital compleja. Descuenta una tasa específica a los flujos de efectivo, es el rendimiento mínimo que debe ganar para que el valor de mercado permanezca sin cambios. Tasa de descuento, rendimiento requerido, costo de capital o de oportunidad (Gitman, 2007).

Cálculo:

VAN = Valor presente de las entradas de efectivo – inversión inicial

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - CF_0 \dots\dots\dots (30)$$

Donde:

CF_t = Valor presente de las entradas de efectivo

CF₀ = inversión inicial

k = tasa equivalente al costo de capital de la empresa (costo de oportunidad, puede usarse la inflación)

t = tiempo

En Excel, se utilizó la función VNA. En esta función, el valor de k sirve para generar diferentes escenarios de valores y fortalecer y argumentar la toma de decisiones sobre los proyectos.

En una comparación de VAN, se prefiere el proyecto que mantenga el valor del dinero más alto.

2.6.4. Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

Es la tasa interna de retorno que iguala el VAN de una oportunidad a cero, debido a que los entradas son iguales a la inversión inicial, es lo que la empresa o institución ganará si hace la inversión y recibe las entradas esperadas, (Gitman, 2007).

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+TIR)^t} - CF_0 \dots\dots\dots (31)$$

En Excel la función es TIR

En Costa Rica, el TIR mínimo para decidir si el proyecto es rentable, debe ser de al menos 16,68%.

III. METODOLOGÍA

3.1. Climatología de la finca

Debido a que la finca se encuentra en constante monitoreo, la información de los datos meteorológicos ya existen gracias a investigaciones anteriores, por lo que la información está disponible y actualizada.

3.2. Estudio edafológico de la finca

La finca Agrícola Industrial Sukia, cuenta con estudios de suelos sobre el contenido mineralógico, textura, conformación de suelo e infiltración. De los cuales el más cambiante sería el análisis de fertilidad del suelo, todos los cálculos están basados en dichos estudios.

3.3. Topografía de la finca

La finca Agrícola Industrial Sukia S.A. cuenta con un mapa digital de los lotes, caminos, estructuras físicas y curvas de nivel, el cual fue realizado con un GPS Trimble R3 y un nivel de precisión marca Sokkia. De igual manera todos los cálculos se basaron en dichos estudios.

3.4. Diseño agronómico de la finca

3.4.1. Evapotranspiración real del cultivo

Se calcula la evapotranspiración usando el método de Thornthwaite, la fórmula empírica puede ser usada para cualquier zona en la cual se registran la temperatura máxima y temperatura mínima diarias.

La fórmula de Thornthwait se representa con la ecuación (32), la cual utiliza valores generados a partir de las ecuaciones 33 y 34.

$$ETP = 16 (10T/I)^a \dots\dots\dots (32)$$

Dónde:

ETP: evapotranspiración en mm.

a : exponente empírico, función de I

I : índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales i , donde i es función de la temperatura media normal mensual

$$I = (t/5)^{1,514} \dots\dots\dots (33)$$

T : temperatura media mensual (no normal) en °C

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \dots (34)$$

3.1.1. Selección de aspersores

Primeramente se analizó la distribución de las plantas que es en minidomos, método que busca la eficiencia del drenaje en las condiciones de la finca. La densidad de siembra, es un factor para poder determinar el espacio necesario entre emisores, los cuales se buscó que tuvieran el traslape necesario para tener uniformidad en el riego.

Con la información de densidad de siembra se buscó tener un espaciamiento entre emisores que se ajustara a las características técnicas de los aspersores disponibles en el mercado, así mismo cuidando que el espacio entre líneas coincidiera con la cobertura del emisor.

3.4.2. Necesidades de riego

Para la determinación de las necesidades hídricas en la finca en función de los cultivos establecidos, se usaron los datos obtenidos previamente sobre capacidad de campo, punto de marchitez permanente y peso específico aparente aplicando la ecuación (2) para obtener la lámina máxima de agua.

Se tomó una eficiencia de aplicación para el sistema de riego de 80 %, por lo que al aplicar la ecuación (3), se obtuvo la lámina bruta.

3.4.3. Frecuencia de riego

Se usó la ecuación (4) despejando la variable Fr (frecuencia de riego) valor que nos determina la cantidad de días por semana en que se debe aplicar el riego, además del ciclo de riego el cual debe ser menor o igual a la frecuencia.

Ya con este valor se recalculó la lámina neta con la ecuación (3) y lámina bruta con la ecuación (4).

3.2. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico del sistema de riego tiene que responder a las condiciones del suelo, disponibilidad de agua, precipitación y el mismo cultivo.

Se buscó que el diseño del sistema de riego cumpliera con la condición de realizar la menor inversión posible, y a la vez tuviera las especificaciones de dotación de riego y uniformidad y con un funcionamiento normal durante toda su vida útil.

3.2.1. Diseño de laterales

Como el desnivel del terreno no es significativo para la determinación de la máxima pérdida admisible, se optó por usar la ecuación (16) la cual caracteriza un lateral colocado a nivel en un terreno plano.

Fue utilizado el método de máxima velocidad permisible, para el diseño de la tubería lateral, ya que el distanciamiento entre plantas definida por la misma densidad propuesta, se determinó el número de salidas de cada lateral que alimentaría a cada aspersor, así mismo, el caudal de cada aspersor es conocido, se multiplicó este caudal por cada salida del lateral determinándose así el caudal de cada lateral, como la distancia de cada sección nos define la distancia de cada lateral, la disposición y espacio entre cada lateral se determinó en función de la disposición de las calles y minidomos establecidos en los cultivos.

Bajo la adecuada ubicación del primer aspersor, se determinó el coeficiente F para el polietileno de baja densidad mediante la ecuación (15).

Una vez establecidos los parámetros de distribución de tuberías fue necesario calcular el diámetro interno ideal usando la ecuación (11) que es la de continuidad, dándonos así un valor el cual debe ser adaptado a la disponibilidad de diámetros en el mercado (el mayor próximo).

3.2.2. Diseño del múltiple

Ya que un múltiple se comporta de manera muy similar a un lateral tomamos en cuenta la presión de entrada igual a la presión de la válvula.

Debido a que la disposición de la fuente de agua, se encuentra en una tubería principal es recomendable haber usado una T de conexión para una distribución uniforme del agua, tanto para el múltiple como para los laterales y por tanto diámetros menores, para determinar el diámetro ideal se usó el método de máxima pérdida permisible.

Como ya se sabía la pérdida permisible del lateral y la pérdida permisible del múltiple se realizó la diferencia entre ambos valores, siendo este resultado lo máximo que se puede perder en la tubería múltiple, usando la ecuación (13) se determinó el diámetro ideal de esta tubería.

Para consumir la máxima pérdida, se combinaron diámetros usando uno comercial de diámetro mayor y el otro menor que el ideal, donde se utilizó el procedimiento descrito para combinar diámetros en tuberías con salidas, determinando primeramente para el diámetro mayor las pérdidas considerando toda la longitud, caudal y salidas, luego para el tramo que se deseaba colocar con el diámetro menor, considerándolo como si fuera de diámetro mayor pero bajo las condiciones de número de salidas, caudal y longitud del diámetro menor, obteniendo las pérdidas, la diferencia de ambos resultados son las pérdidas para el diámetro mayor, se determinaron las pérdidas para el tramo de menor diámetro pero usando el diámetro menor, la suma de las pérdidas del tramo de mayor diámetro más las del menor tramo es el total de pérdidas para la tubería múltiple, verificándose así la velocidad para cada tramo.

Usando la ecuación (19) y las pérdidas en la tubería lateral se determinó la presión a la entrada del mismo, teniendo el valor de las pérdidas en la tubería múltiple, y la presión a la

entrada del lateral, se determinó la presión en la válvula aplicando la ecuación (26), se verificó que la diferencia de presiones sea menor que la máxima permitida.

3.2.3. Diseño de la tubería principal

Sabiendo de antemano la ubicación de las válvulas en el terreno, se llevó a cabo el diseño de la tubería principal, la cual sale de la estación de bombeo existente y llega a cada válvula. Así esta tubería atraviesa el terreno y a partir de ella se derivan las tuberías hacia las válvulas. Para determinar el diámetro de esa tubería se usó, como en los casos anteriores, el método de la máxima pérdida permisible, considerando que ya el sistema de bombeo existe.

Se aseguró que el diseño no sobrepasará la capacidad de trabajo de la bomba, para lograrlo fue necesario analizar la curva característica de la bomba a utilizar, verificando la carga dinámica (CDT) con el caudal más crítico.

Ya que el caudal que corre por la tubería principal es el total que requerirá cada bloque de riego, se toma en cuenta el bloque con mayor demanda de agua, una vez obtenido el diámetro ideal se busca en la oferta del mercado de tuberías el diámetro comercial mayor inmediato al calculado, así mismo se determina la pérdida por fricción dada por la ecuación (12) y se verifica que la velocidad no sea mayor a la establecida.

3.3. Fertirriego

Se valoró el histórico de los análisis de suelos para ver las tendencias de desgaste de elementos y cambios en los balances de bases en el suelo.

Se estableció una productividad esperada para los cultivos de papaya y plátano, con base en consumos de elemento extraído por una cosecha de plátano y papaya reportado por Bertsch (2003) se interpoló y se obtuvo una cantidad de elemento puro el cual se multiplicó por un factor de conversión para indicar la necesidad de elemento oxidado de una fuente comercial.

Se calculó la necesidad de fuentes de elementos nutritivos de fuentes comerciales disponibles para los cultivos de papaya y plátano, además se calculó la solubilidad de cada

fuentes comerciales de fertilización con el objetivo de obtener un volumen de agua mínimo requerido para solubilizar la mezcla de fertilizantes que se inyectarán al sistema de fertirriego.

Se propuso una dosis de fertilizantes solubles inyectada al sistema de fertirriego con base a la fenología de los cultivos plátano y papaya.

3.4. Análisis económico

Se proyectó los beneficios económicos que pueden impactar en la implementación del sistema de riego en Agrícola Industrial Sukia mediante un balance económico sobre la tasa de retorno interna en valor presente.

IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Información meteorológica de la finca

Con la información de precipitación y temperatura obtenidas de la estación meteorológica del Instituto Tecnológico Sede San Carlos y la delimitación de la cuenca, mediante una hoja de cálculo de Excel, se realizó el modelo del balance hídrico por el método de Thornthwaite (Villón, 2004). Dicha información se observa de manera detallada en el cuadro 8.

Cuadro 8. Balance hídrico para la subcuenta que afecta la finca Agrícola, obtenida con el método de Thornthwaite.

Localización La Vega, San Carlos . Lat. = 10.2 Grados 0.18 rad														
												Almacenamiento agua suelo = 40 mm		
Declinación (deg)	18.9	23.3	21.3	13.7	3.0	-9.0	-18.6	-23.3	-21.3	-13.3	-2.0	9.8		
Declinación (rad)	0.33	0.41	0.37	0.24	0.05	-0.16	-0.32	-0.41	-0.37	-0.23	-0.03	0.17		
Duración día (hr)*	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	11.5	11.7	12.0	12.2		
Area de la cuenca 16.8 km2→ 1680.0 Hectáreas → 16800000.0 m ²														
Descripción variable	Mes	Balance Hídrico en mm												Año
		M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	
Lluvia mm	<i>Precipitación</i>	237.30	344.40	440.20	393.00	381.20	406.80	352.80	313.20	197.50	114.40	73.00	95.00	3349
Temperatura C°	<i>T</i>	26.7	26.2	25.9	26.1	26.1	26.1	25.3	24.8	24.5	26.3	27.2	27.3	26
Factor corrección	<i>F</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Evapotranspiración potencial mm	<i>EVT_Potencial</i>	124	123	124	128	131	132	126	120	115	125	128	128	1504
Deficit/exceso de agua mm	<i>P - EVTP</i>	113	221	316	265	250	275	227	193	82	-10	-55	-33	
Humedad del suelo mm	<i>Hum_suelo</i>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	31	8	9	
Cambio de humedad del suelo mm	<i>ΔHum_suelo</i>	31	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	-23	1	
Evapotranspiración actual mm	<i>EVT_actual</i>	124	123	124	128	131	132	126	120	115	124	96	94	1437
Excedente de agua W-ET-(ISO)	<i>Excedente de ag</i>	82	221	316	265	250	275	227	193	82	0	0	0	1912

A continuación, se tabula en el cuadro 9, el comportamiento del balance hídrico, donde se puede apreciar que hay un déficit en los meses de febrero, marzo y abril. En los restantes meses ocurre un excedente del agua debido a un superávit en la precipitación.

Cuadro 9 Balance hídrico para la finca Agrícola Industrial Sukia, utilizando el método de Thornthwaite y un Kc 1.1 para los cultivos de papaya y plátano.

Mes	May	Jul	Jun	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Precipitación	237	344	440	393	381	407	353	313	198	114	73	95
EVT_Potencial	124	123	124	128	131	132	126	120	115	125	128	128
Excedente de agua	113	221	316	265	250	275	227	193	82	-10	-55	-33
ETOc de Papaya Kc 1.10	136	135	137	141	144	145	138	132	127	137	141	140
ETOc de Plátano Kc 1.10	136	135	137	141	144	145	138	132	127	137	141	140
Necesidad Riego	-101	-209	-304	-252	-237	-262	-214	-181	-71	23	68	45
Condición	Exceso de lluvias						Irrigación					

El mes de marzo resultó ser el mes con más déficit hídrico, el cual fue utilizado para realizar los cálculos en el diseño agronómico y el diseño hidráulico.

4.2. Resultados edafológicos de la finca.

La textura de los suelos es una condición poco modificable, la cual es de importancia conocer para tomar las decisiones con respecto al comportamiento característico de una textura de suelo.

Como se puede observar, del estudio existente el área de cultivo se dividió en cinco sectores como se muestra en el cuadro 10. Las zonas S1, S2 y S3 se comportan muy similares y se define como un solo bloque con una misma textura. Las zonas S4 y S5 se comportan similares entre sí formando el segundo bloque de la misma textura.

Cuadro 10. Textura de suelos de muestras compuestas.

Identificación de Campo	Propietario	%			NOMBRE TEXTURAL
		ARENA	ARCILLA	LIMO	
S1	Agrícola Industrial Sukia	49,05	25,95	25	Franco Arcilloso Arenoso
S2	Agrícola Industrial Sukia	54,05	25,95	20	Franco Arcilloso Arenoso
S3	Agrícola Industrial Sukia	46,55	28,45	25	Franco Arcilloso Arenoso
S4	Agrícola Industrial Sukia	35,8	30,95	33,25	Franco Arcilloso
S5	Agrícola Industrial Sukia	43,3	30,95	25,75	Franco Arcilloso

Fuente: Laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico de San Carlos

En el cuadro 11, se presentan los respectivos análisis químicos de suelos de cada lote, elaborados por el laboratorio Suelos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en donde se aprecia que las diferencias no son tan marcadas y se toma la decisión de manejar un mismo programa de fertilidad por cultivo en todas las áreas.

Cuadro 11. Análisis químico de suelos para las muestras compuestas de los respectivos lotes de sistema de producción agrícola.

N° Lab.	Identificación de campo	pH	cmol(+)/L			mg/L					
			K	Ca	Mg	Acidez	P	Fe	Cu	Zn	Mn
17157	Lote 1	5,44	0,33	28,28	3,76	0,65	22,9	149	7,4	2,2	29,5
17158	Lote 2	5,58	0,42	27,67	2,99	0,15	22,0	148	6,9	2,4	32,0
17159	Lote 3	5,40	0,41	26,83	4,61	0,20	17,0	118	6,2	2,3	46,8
17160	Lote 4	5,26	0,39	28,87	3,86	0,25	18,8	131	6,9	2,2	34,3
17161	Lote 5	5,44	0,53	26,67	4,40	0,15	18,7	110	7,3	2,5	29,5

Metodología: Olsen Modificado: K, P, Fe, Zn, Cu, Mn – KCl 1N: Ca, Mg, Acidez – pH en H₂O

Conformación de suelo

El programa de preparación de terreno para el cultivo de plátano, papaya y pipas en la finca Agrícola Industrial Sukia, consiste en mecanizar los suelos con rastra, un arado subsolador y luego conformarlos en forma de minidomos de 5 metros de ancho con pala niveladora, con el objetivo de ordenar el campo de cultivo.

El ordenamiento consiste en dividir en franjas y formar una zona de cultivo y una zona de trabajo, como se muestra en la figura 2. En resumen, esta es una zona dedicada a satisfacer eficientemente el cultivo.

La zona de trabajo: es una franja de 1,8 m de ancho, la cual tiene forma de cuneta orientada para realizar los pases de atomizo con tractor equipado con Spray Boom, además, esta franja está diseñada para que las aguas de escorrentía desagüen en un canal recolector.

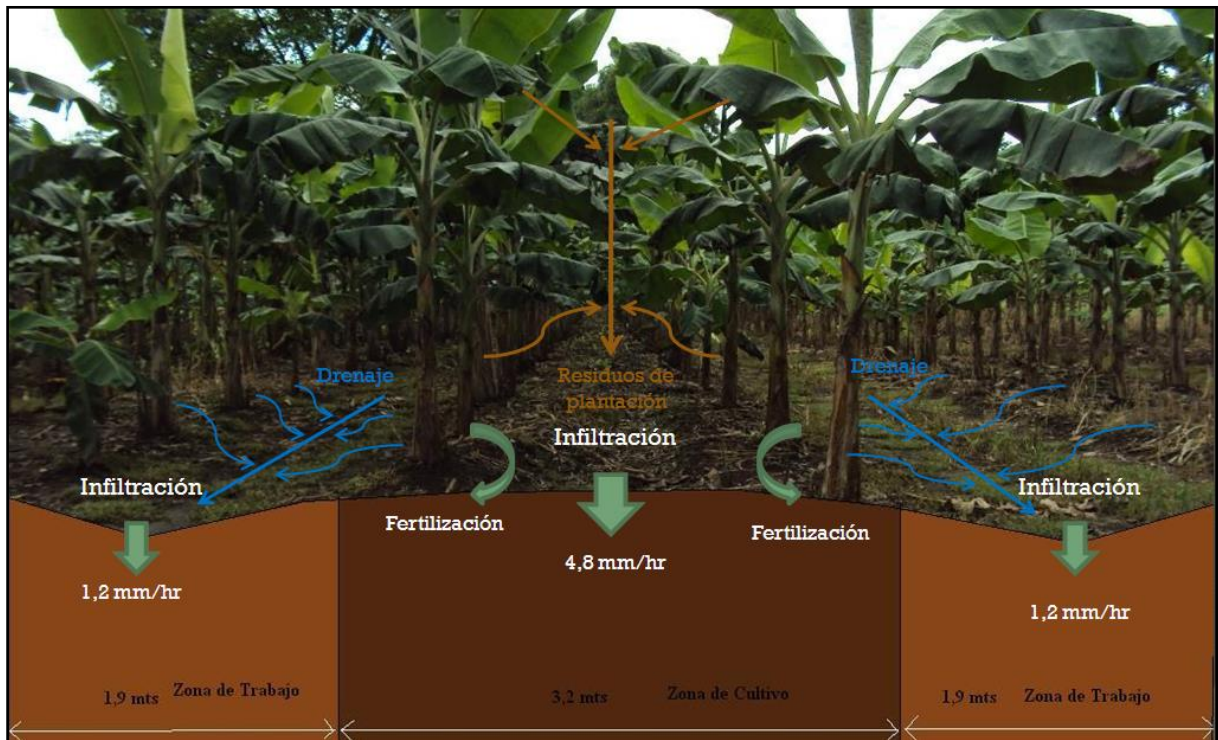


Figura 2. Diseño de preparación de terreno para el cultivo de plátano, papaya y pipa en finca la Agrícola Industrial Sukia.

4.2.1 Comportamiento de la infiltración de los suelos

Conocer el comportamiento de la velocidad de infiltración que caracteriza el suelo, es fundamental para la toma de decisiones para el diseño de irrigación y estrategia de labranza que se va a establecer para el manejo del cultivo. A continuación, se presenta la gráfica de la velocidad de infiltración con el método del anillo concéntrico evaluada en la banda de cultivo, realizada en un suelo de plantación establecida la cual ya tiene más de un año de presentar labores de cultivo.

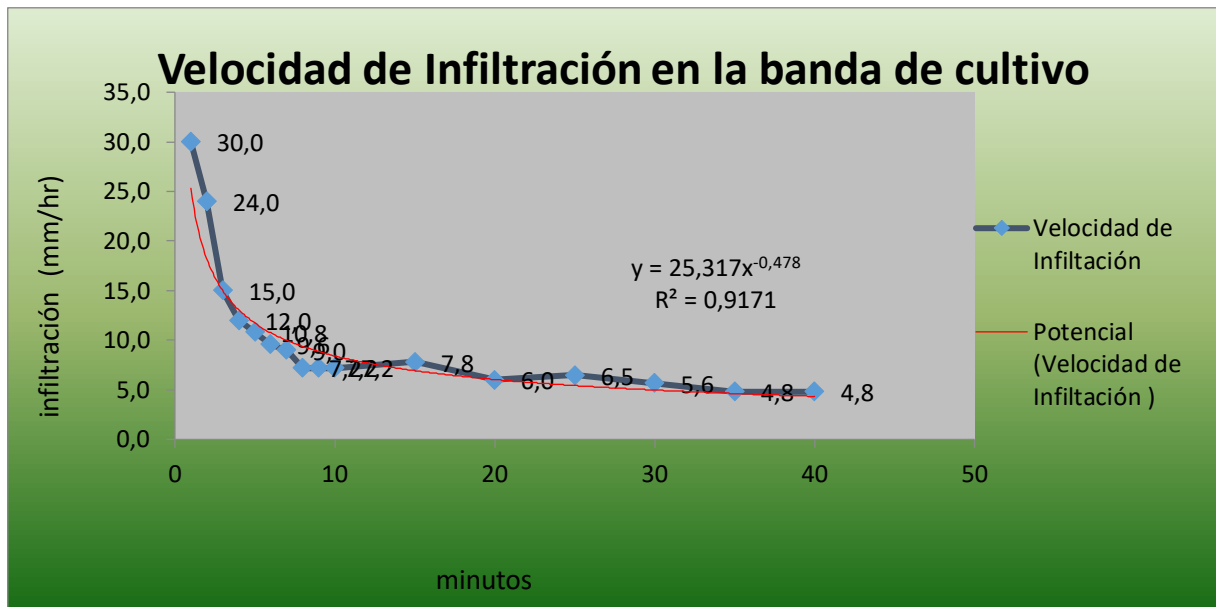


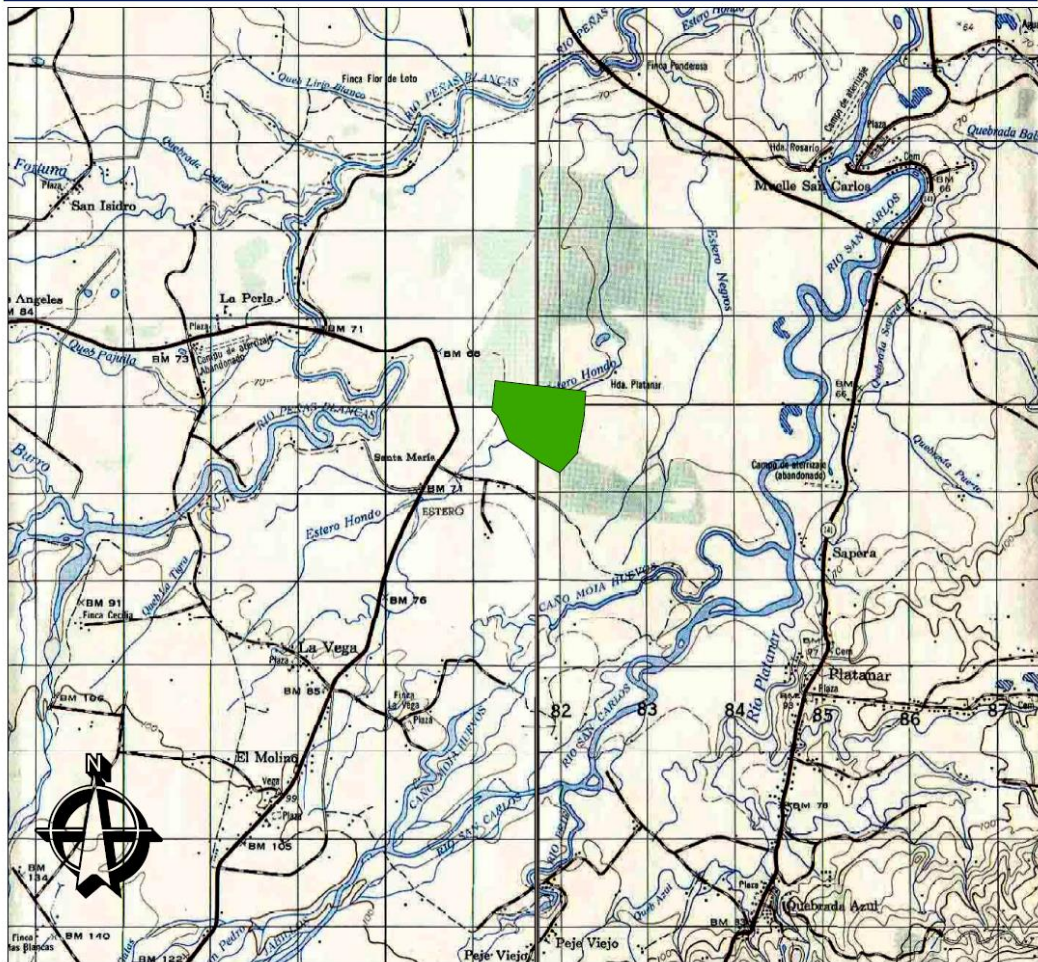
Figura 3. Curva de infiltración medida en la zona de cultivo definida en el diseño de cultivo.

En la figura 3 se establece que la infiltración básica que ocurre en la banda de cultivo, es de 4,8 milímetros por hora.

4.3 Cartográfica y topografía

En la cartografía nacional se representan: las carreteras, los ríos, las zonas de cobertura boscosas, los poblados, el relieve y las coordenadas planas de ubicación geográfica. Por tal razón la ubicación cartográfica de Agrícola Industrial Sukia, facilita valorar las variables aledañas que pueden afectar el terreno. Se puede notar que la finca es parte de una zona boscosa, está cerca de la carretera pavimentada, un río la atraviesa y la carretera funciona como un dique ante las crecidas de río Peñas Blancas. Se adjunta a continuación en la figura 4 el mapa cartográfico de la finca.

Ubicación Cartográfica de Agrícola Industrial Sukia S.A.



Leyenda

Agrícola Industrial Sukia S.A.

Hoja Cartografica AGUAS ZARCAS 070
 RGB
 Red: Band_1
 Green: Band_2
 Blue: Band_3

069_FORTUNAREf.img
 RGB
 Red: Band_1
 Green: Band_2
 Blue: Band_3

Fuentes

Lindero de Finca Agrícola Industrial Sukia
 Hoja Cartográfica Fortuna 069
 Hoja Cartográfica Aguas Zarcas 070
 Capa de Línea Continental de Atlas 2004

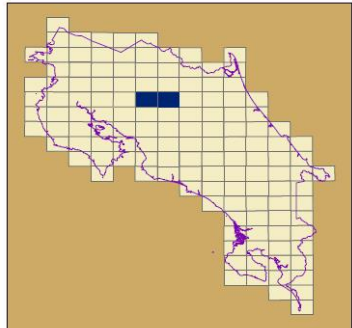


Figura 4. Ubicación Cartográfica la finca Agrícola Industrial Sukia.

La ubicación de Agrícola Industrial Sukia en la imagen aérea obtenida de ortofotos tomada con Drone modelo Mavic Pro, en donde se muestra la vegetación, infraestructura, distribución de los lotes de cultivo y linderos de la propiedad. Esta imagen se desagrega en información vectorial que genera mapa de líneas, polígonos o puntos con información de cada variable geográfica aislada tal y como se puede apreciar en la figura 5.

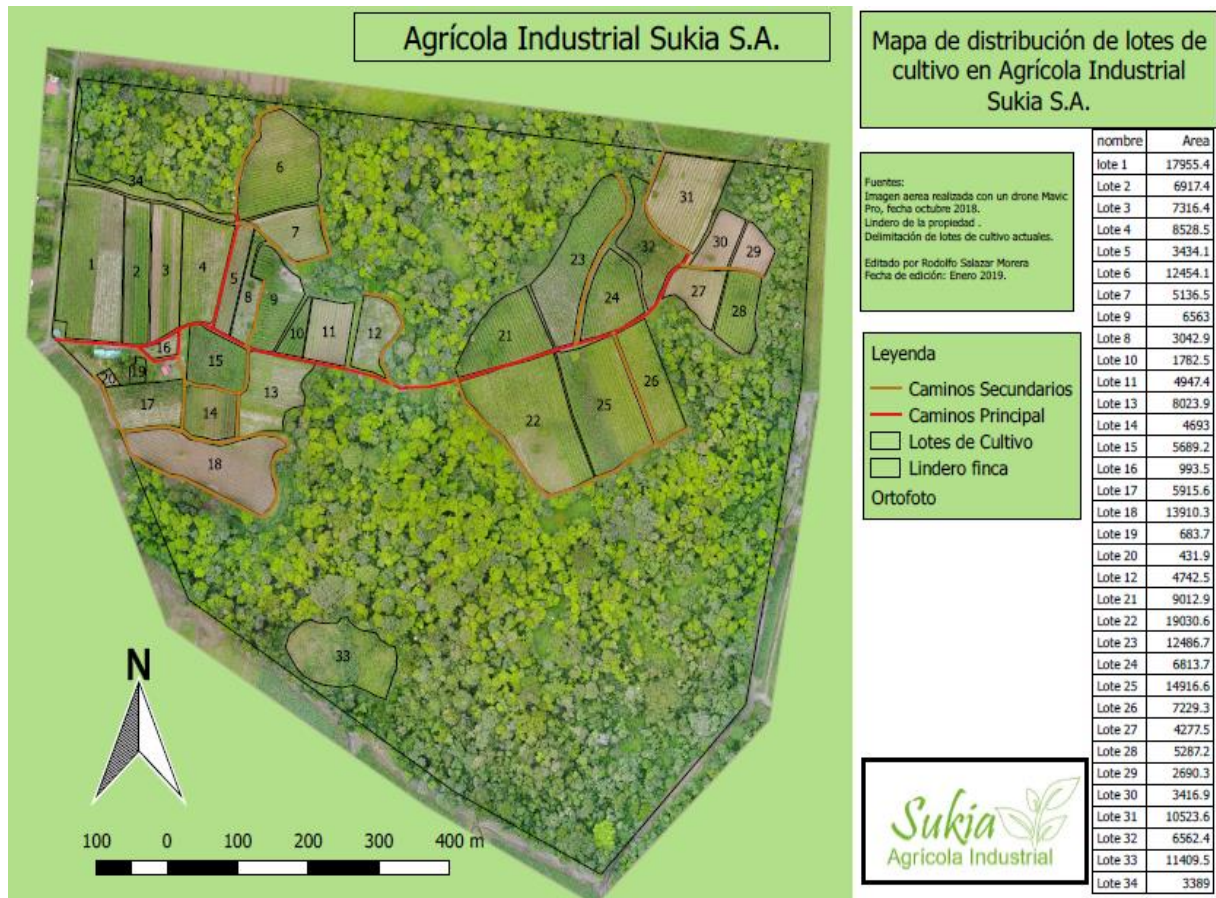


Figura 5. Ubicación de la finca Agrícola Industrial Sukia en la imagen satelital

El área demarcada en los lotes de cultivo resultó en una sumatoria de 23, 96 ha que se sometió al diseño de riego.

El relieve de las áreas de cultivo es muy regular y plana como se muestra en la figura 6 en donde se ubican las curvas de nivel cada 20 cm de diferencia de altura en los lotes de cultivo. El pozo se ubica en la cota más alta de 80,1 msnm.

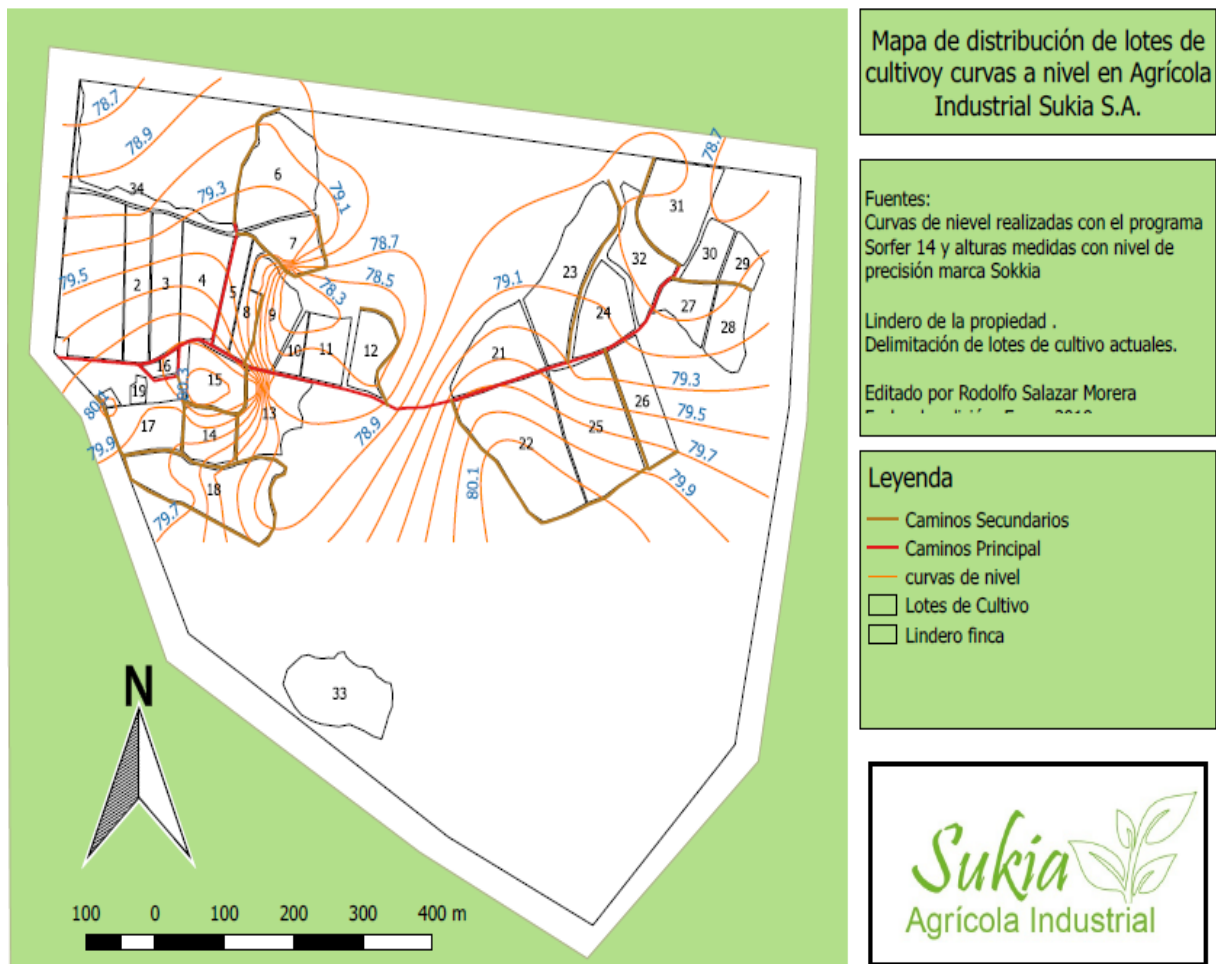


Figura 6. Mapa de curvas de nivel ubicadas en los lotes de cultivo

4.4 Diseño hidráulico

4.4.1 Diseño agronómico

Lo primero que se realizó fue la selección del aspersor a utilizar, sin embargo, es importante primero explicar el porqué de dicha elección. Previamente, analizando los cultivos de plátano y papaya tienen un alcance de raíces que cubre los mini domos de 5 metros de ancho sembrado a doble surco. La cobertura del aspersor sería de una línea lateral para cada mini domo de 5 metros de ancho.

El modelo de aspersión se adapta bien a los minidomos para lograr un buen mojado de la zonas de raíz de cultivo y logra una distribución uniforme para el sistema de fertirrigación haciendo el proceso mas eficiente.

El aspersor AK panaplasts modelo 3003, con boquilla negra dosifica un caudal de 70 litros por hora y cubre un diámetro de mojado de 7 metros a una presión de trabajo de 2 bares. En el cuadro 12 y anexo 1 se describen las características de dicho aspersor.

Cuadro 12. Información del aspersor

Ak Panaplast	Modelo 3003
Preción de trabajo	10 – 35 m.c.a.
Espaciamiento entre micro aspersores	4 metros en lateral y 5 metros entre hileras
Caudal a 20 m.c.a.	70 lt/hr
Boquilla	Negra

Fuete: AK panaplast, (2012)

4.4.2 Necesidades de riego

Con datos del anexo 2 se obtuvo la información básica para comenzar a calcular las necesidades hídricas en función al tipo de suelo presente en la finca.

4.4.2.1 Lamina de riego

Luego se calculó la lámina neta con la siguiente ecuación.

$$Ln = (27 - 13) \times 100 \times 1,35 \times 40 \times 0,30$$

Donde:

$Ln = 2,268$ (cm) o bien 22,68 (mm) de Lámina.

$CC = 27$ (%)

$PMP = 13$ (%)

$Pe = 1,35$ (g/cm³)

$Prof = 40$ (cm)

$Agot. = 30$ (%)

Los dos tipos de suelos que caracterizan las zonas de cultivo se comportan como franco arcilloso en general. Basado en la tabla de texturas publicada por Flores y Acalé (2010) resulta este tipo de suelo con: una densidad aparente $1,35 \text{ gr/cm}^3$, la capacidad de campo en 27% y el puntos de marchites permanente en 13%.

4.4.2.2 Precipitación horaria del sistema de riego (Phr)

Cálculo de la precipitación horaria del sistema de riego (Phr)

$$Phr = (70) / (4 \times 5)$$

Donde:

$$Phr = 3,5 \text{ (mm/h)}.$$

$$Qe = 70 \text{ (l/h)}.$$

$$de = 4 \text{ (m)}.$$

$$dl = 5 \text{ (m)}.$$

Se comparó la precipitación horaria (Phr) de 3,5 mm/hr con la velocidad de infiltración básica del suelo de 4,8 (mm/h) graficado en la figura 3. Resultando factible usar el aspersor seleccionado bajo el criterio de comparación $Phr \text{ (mm/h)} \leq I \text{ (mm/h)}$.

4.4.2.3 Intervalo de riego (Ir)

Los días entre riegos consecutivos en la misma posición.

El intervalo de riego depende de la lámina de agua aprovechable y del consumo diario del cultivo (ETR).

$$Ir \text{ (días)} = (22,68) / (2,267)$$

Donde:

$$Ir = 10,004 \text{ días}$$

$$Ln = 22,68 \text{ (mm)}$$

$$ETR = 68 / 30 = 2,267 \text{ (mm/día) para el mes de marzo}$$

Para el cálculo de I_r y todas las fórmulas siguientes, se emplean los datos correspondientes al periodo de máxima demanda hídrica del cultivo (ETR)

4.4.2.4 Lámina de riego ajustada (L_r (aj))

$$L_r (aj) = (10,004 \times 2,267)$$

Donde:

$$L_r (aj) = 22,68 \text{ (mm)}.$$

$$I_r (aj) = 10,004 \text{ (días)}.$$

$$ETR = 2,267 \text{ (mm/día)}.$$

4.4.2.5 Ciclo de riego (C_r)

El ciclo de riego es el número entero de días durante el cual se vuelve a regar una parcela determinada. Se asume un factor de seguridad de 2 días para imprevistos (mecánicos, electricidad, labores del cultivo)

$$C_r \text{ (días)} = 10 - 2$$

$$C_r = 8 \text{ días}$$

4.4.2.6 Lámina bruta (L_b)

Cada método de riego tiene su eficiencia típica. De acuerdo con la lámina de riego ajustada (L_{raj}) y la eficiencia del sistema (E_f), se determina la lámina de riego bruta (L_b), con la siguiente fórmula:

$$L_b = (22,68 \times 100) / 85$$

Donde:

$$L_b = 26,68 \text{ (mm)}$$

$$L_r (aj) = 22,68 \text{ (mm)}$$

$$E_f = 85 \text{ (\%)} \text{ aspensor a } 4 \times 5 \text{ metros tienen un coeficiente de uniformidad de } 93\%$$

4.4.2.7 Dosis bruta (Db)

Es el volumen de agua a aplicar por unidad de superficie bruta de la parcela (ha).

$$Db = (26,68) / 10$$

Donde:

$$Db = 266,8 \text{ (m}^3\text{/ha)}$$

$$Lb = 26,68 \text{ (mm)}$$

4.4.2.8 Dosis de agua bruta por planta (Dbp)

Es el volumen de agua a aplicar a cada planta regada por aspersión

$$Dbp = (26,68 \times 1,25 \times 2,5)$$

Donde

$$Dbp = 83,37 \text{ (litros/planta)}$$

$$Dp = 1,25 \text{ (m)}$$

$$Dh = 2,5 \text{ (m)}$$

4.4.2.9 Horas de riego por turno (Ht)

Es el tiempo requerido para aplicar la lámina bruta

$$Ht = 26,68 / 3,5$$

Donde:

$$Ht = 7,62 \text{ hrs o bien 7 horas y 37 minutos.}$$

$$Lb = 26,68 \text{ (mm)}$$

$$Phr = 3,5 \text{ (mm/h)}$$

4.4.2.10 Máximo número de horas de riego diarias (Hm)

Es el máximo número de horas de riego durante las cuales es posible operar el sistema de riego diariamente, se asume en 24 horas por día. Por ser un sistema automatizado se aprovecha más el tiempo de trabajo.

4.4.2.11 Máximo número de turnos de riego diarios (Td)

Es el número de turnos de riego (en número entero) que es posible realizar durante un día. Se obtiene redondeando al inferior entero el cociente de horas requeridas por turno de riego (Ht) y el máximo número durante el cual es posible operar el sistema de riego por día.

$$Td = 24 / 7,62$$

Donde:

$$Td = 3,15 \text{ redondea a } 3 \text{ (entero)}$$

$$Hm = 24 \text{ (h/día)}$$

$$Ht = 7,62 \text{ (h)}$$

4.4.2.12 Horas de riego por día (Hd)

Es el total de horas de riego por día, se calcula con la siguiente fórmula:

$$Hd = 3 \times 7,62$$

Donde:

$$Hd = 22,86 \text{ (h) o bien } 22 \text{ horas y } 52 \text{ minutos}$$

$$Td = 3 \text{ por día}$$

$$Ht = 7,62 \text{ (h)}$$

4.4.2.13 Número de turnos por ciclo (Tc)

Es el número de veces que hace falta poner en operación el sistema de riego para cubrir el área de riego. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Tc = 8 \times 3$$

Donde:

$Tc = 24$ ciclo de riego.

$CR = 8$ (días)

$Td = 3$ por día

4.4.2.14 Superficie bajo riego por turno (St)

Es el área que se puede permitir regar durante un turno de riego.

$$St = 23,96 / 24$$

Donde:

$St = 0,998$ aproximado a 1 (ha / turno)

$Sr = 23,96$ (ha / ciclo)

$Tc = 24$ (turnos / ciclo)

4.4.2.15 Dosis bruta por turno (DBt)

Es el volumen de agua requerido para regar un turno de riego.

$$DBt = 1 \times 266,8$$

Donde:

$DBt = 266,8$ (m³ / turno)

$St = 1$ (ha / turno)

$DB = 266,8$ (m³ / ha)

4.4.2.16 Caudal requerido (Qr)

Es el caudal requerido para el riego de la parcela.

$$Qr = 266,7 / 7,62$$

Donde:

$$Qr = 35 \text{ (m}^3 \text{ / h)}$$

$$DBt = 266,8 \text{ (m}^3 \text{ / turno)}$$

$$Ht = 7,62 \text{ (h / turno)}$$

4.4.2.17 Descarga disponible en el sistema de riego (Qs)

El modelo de siembra de la finca es programado y constante, donde ocurren etapas en el ciclo de la tierra donde no se necesita riego para el cultivo, como son: la cosecha, preparación de suelos y descanso del terreno, además el requerimiento hídrico en edades tempranas de los cultivos de papaya y plátano es menor. Para ser eficientes con los recursos se propuso diseñar la tubería principal y el sistema de bombeo que tiene alcance en toda el área cultivo de 24 hectáreas, con la capacidad hidráulica para regar 9,6 ha por ciclo de riego que corresponde a un 40% de área disponible para cultivo. Los laterales, múltiples y verdulería se diseñaron para regar 0.4 ha por turno de riego. Bajo este argumento el sistema de riego demanda 14 m³/hr.

La fuente de agua es un pozo existente que abastece 18 m³/hr en la época seca y como factor de seguridad la propiedad cuenta con río, con flujo permanente todo el año.

4.4.2.18 Número de emisores por turno (Emt)

El número de emisores por turno se calculó con base en la descarga del sistema de riego (Qr) y la descarga del emisor (Qe), y es un dato que se utiliza para el diseño de los laterales de riego.

$$Emt = (14 \times 1,000) / 70$$

Donde:

$$Emt = 500 \text{ emisores por turno.}$$

$$Qr = 14 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$Qe = 70 \text{ (l/h).}$$

4.4.2.19 Diseño de laterales

El diseño de laterales se realizó con tubería de polietileno de baja densidad, debido a que cada vez que se renueva la plantación se tiene que desinstalar los laterales para preparar el terreno y posteriormente se instalan de nuevo. Los lotes de cultivo presenta irregularidades en forma y longitudes por lo que el diseño de laterales se basa en 4 diámetros de tubería que son: 32, 25, 20 y 16 milímetros y se sigue el criterio de colocar un diámetro de tubería cuya pérdida de presión por fricción no supere el 20% de la presión de operación del emisor. Para lo cual, se calculó el número máximo permitido de emisores que cada diámetro de tubería soporta y la distancia del lateral que puede alcanzar con el espaciamiento de 4 metros entre emisores. En la figura 7 se puede observar la distribución.

Cuadro 13. Longitud y cantidad de emisores máxima para cada diámetro de tubería de lateral.

Diámetro de tubería en polietileno	Cantidad de Emisores	Distancia (m)
32 mm	51	204
25 mm	31	124
20 mm	17	68
16 mm	11	44

Se calculó las pérdidas por fricción del lateral de lote 31 que es el más lejano respecto a la ubicación del sistema de bombeo con la ecuación (14). Sabiendo que la longitud del lote son 104 metros, con la colocación de 26 emisores se obtiene un caudal de 1,82 m³/hr y un factor f de 0,384. El material es de polietileno de baja densidad con un coeficiente c de 140 para un diámetro de tubería prestablecido en el cuadro (13).

$$hf = 1,131 * 10^9 * \left(\frac{1.84}{140}\right)^{1.852} * 104 * 28^{-4.872} * 0.384$$

Donde:

$$hf = 1,14 \text{ (mca)}$$

$$Q = 1,82 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$C =$ para polietileno 140.

$L = 104$ m.

$D = 28$ (mm).

$F = 0,384$ coeficiente para 26 salidas.

En la figura 7 se esquematiza la longitud máxima de cada lateral según el diámetro de tubería

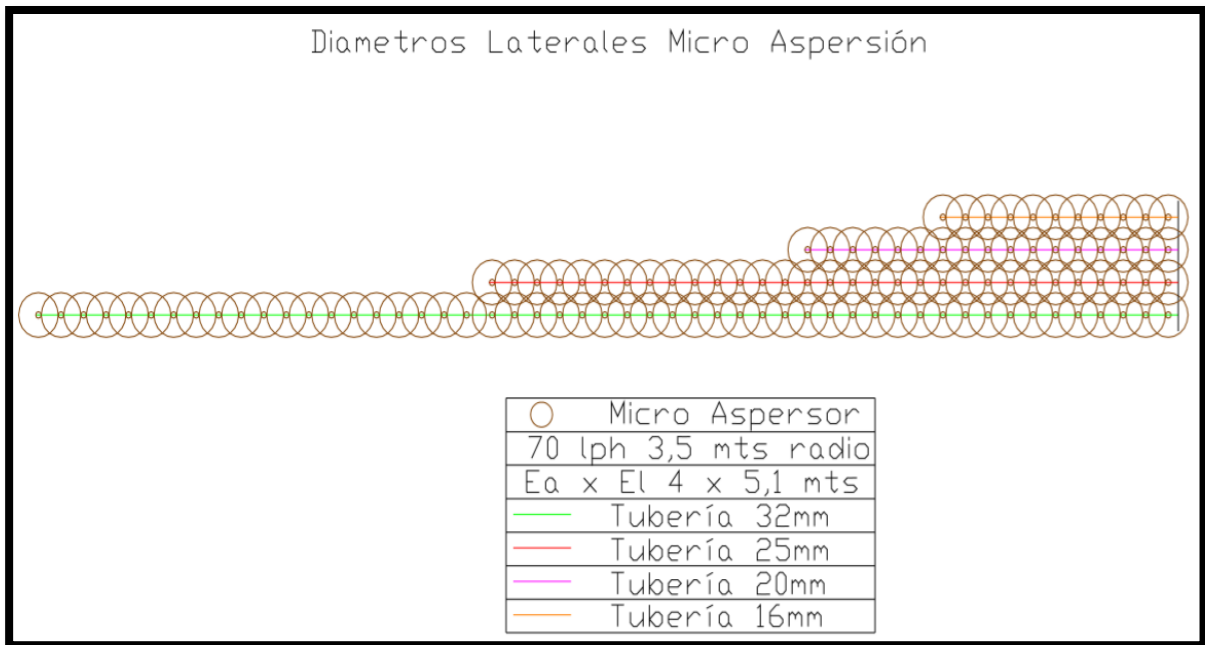


Figura 7. Esquema de la máxima longitud de laterales

4.4.2.20 Diseño de tubería múltiple

La tubería múltiple tendrá la función de tomar el agua de la tubería principal para así repartirla a través de los laterales, la capacidad de dicha tubería varía en función de las características del material.

El diseño de las tuberías múltiples, se realizó colocando la válvula de control en la mitad del múltiple con el objetivo de distribuir la mitad del caudal en cada salida de la válvula y minimizar la diferencia de presión a lo largo del múltiple.

Para efectos de obtener la presión mínima de trabajo del sistema de bombeo, se calculó las pérdidas por fricción de la tubería de múltiple del lote 31, que es el más lejano respecto al sistema de bombeo.

Sabiendo que el espaciamiento de cada lateral es de 5 metros y cada lateral tiene un caudal de 1,82 m³/hr se obtiene cada salida. El lote 31 tiene un múltiple de 7 salidas en total y para diseño se utilizan el caudal a la mitad ubicando la válvula al centro del divisor.

$$hf = 1,131 * 10^9 * \left(\frac{6.37}{140}\right)^{1.852} * 20 * 35^{-4.872} * 0.337$$

Donde:

$$hf = 0,75 \text{ (mca)}$$

$Q = 6.37 \text{ (m}^3\text{/h)}$ corresponde a la mitad del múltiple

$C =$ para polietileno 140.

$L = 20 \text{ m.}$ corresponde a la mitad del múltiple

$$D = 35 \text{ (mm).}$$

$F = 0,337$ coeficiente para 4 salidas.

Se verifica que la diferencia de presión no sobrepase el 20% de la presión de trabajo del lateral. Equivale a un 20% de la P_e 21,16 mca. Resultando que las pérdidas por fricción de 0,75 mca en múltiple y de 1,14 en el lateral es mucho menor que de la 4,23 mca de la pérdidas máximas admisibles.

4.4.2.21 Diseño de tubería principal

La tubería madre se diseñó con la capacidad para regar 0,4 hectáreas con un caudal de 14 m³/hr, en cualquier zona de cultivo y con el criterio de diseño de que no sobrepase la velocidad

del flujo en la tubería de 2,5 m/s. Además la tubería madre se distribuye al lado de los caminos de acceso que tiene cada parcela de cultivo.

Se determinó el diámetro de tubería de polietileno que no sobrepase la velocidad del flujo de 2,5 m/s despejando el diámetro

$$D = \sqrt{\frac{4 * \left(\frac{4}{3600}\right)}{2,5 * \pi}}$$

Donde:

$$D = 0,04451(\text{m})$$

$$Q = 0,0011111 (\text{m}^3/\text{s})$$

$$V = 2,5 (\text{m/s})$$

El diámetro en polietileno de 6 atmósferas más próximo al diámetro de 44, 5 milímetros (mm) de diámetro interno es el diámetro comercial de 2 pulgadas que corresponde a un diámetro interno de 55 mm.

Para determinar las pérdidas de carga debido a la fricción, para el tramo de tubería que va del bombeo a lote 31 que es el más lejano. Se utilizó la ecuación de Hazen Williams la cual se expresa tal y como lo muestra la ecuación (12):

$$hf = 1,13 * 10^9 * (14/140)^{1,852} * 708 * 55^{-4,872}$$

Donde:

$$hf = 37,33 (\text{mca})$$

$$Q = 14 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$C = \text{para polietileno } 140.$$

$$L = 708 \text{ m.}$$

$$D = 55 (\text{mm}).$$

El resultado para el diseño de tubería nos indica que tiene que ser de 55 mm de diámetro interno, que es el diámetro comercial de 2 pulgada de tubería de polietileno de baja densidad

En la figura 8 podemos ver cómo será distribuida la tubería madre (principal) por toda la finca, indicando los diámetros de tubería en diferentes colores.

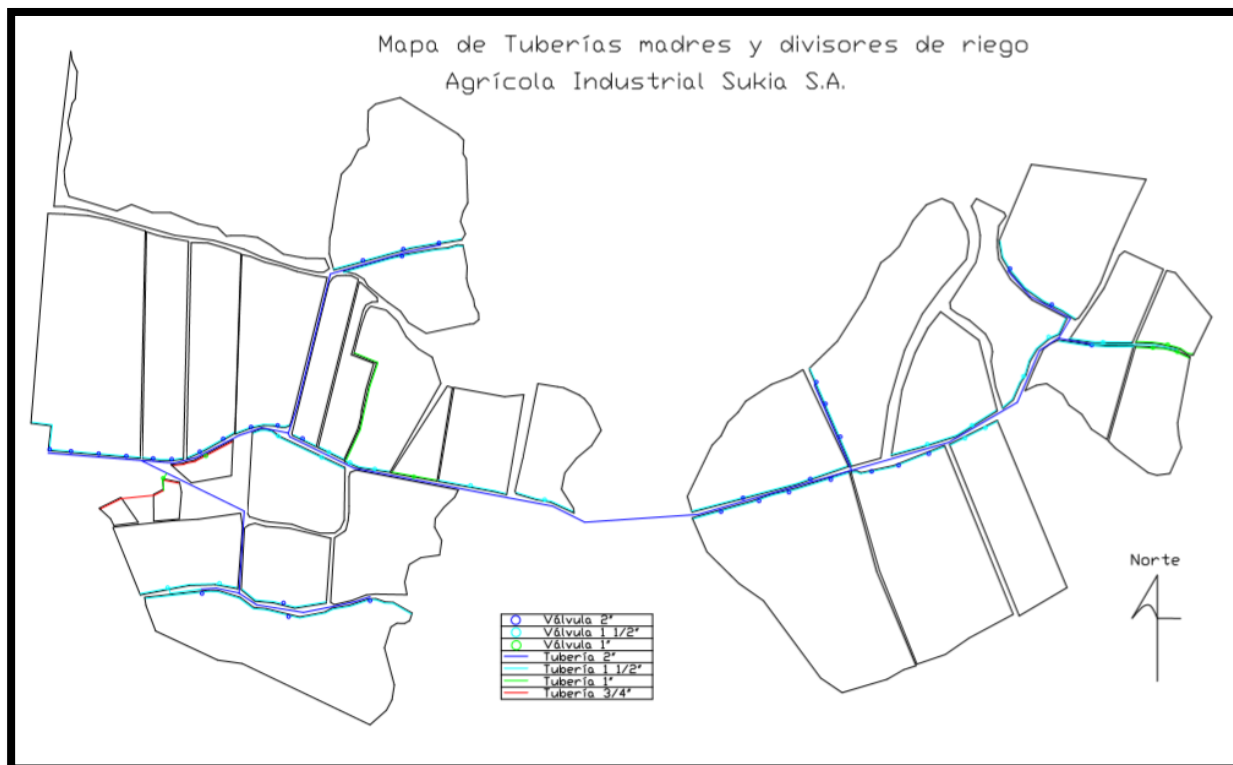


Figura 8. Distribución de tubería madre (principal) en la finca

4.4.2.22 Definición de presiones

Con la presión de trabajo del tramo más lejano con respecto a bombeo que corresponde al lote 31 se obtiene la presión mínima del sistema.

Para lateral sobre terreno plano:

$$P_e = 20 + 0,75 * 1,14 + 0,3$$

Dónde:

$$P_e = 21,16 \text{ (mca)}$$

$$P_o = 20 \text{ (mca)}$$

$$h_f = 1,14 \text{ (mca)}$$

$$h_{el} = 0,3 \text{ m)}$$

Como el múltiple se comporta como un lateral, para calcular la presión de entrada del múltiple, que es igual a la presión de la válvula, se aplica el mismo criterio que cuando se calcula la presión a la entrada del lateral y se expresa mediante la ecuación (25).

$$P_m: 21,16 + 0,75 * 1,14 \quad (25)$$

Donde:

$$P_m = 23,80 \text{ (mca)}$$

$$P_e = 21,16 \text{ (mca)}$$

$$H_f = 1,14 \text{ (mca)}$$

La sumatoria de presiones la salida del bombeo sería

$$P_{\text{total}} = 23,80 + 37,33$$

Donde

$$P_{\text{total}} = 61,13 \text{ (mca)}$$

$$P_m = 23,80 \text{ (mca)}$$

hf principal = 37,33 (mca)

4.4.2.23 Diseño de sistema de bombeo

El sistema de bombeo se definió con base en un caudal de operación de 14 m³/hr y una presión de operación de 63 metros de columna de agua. En la figura 9 se muestra la curva de la bomba, que corresponde al equipo marca FRANKLIN MOTOR P/BOMBA SUMER. 05,00HP 230V 1F 4 22430352.

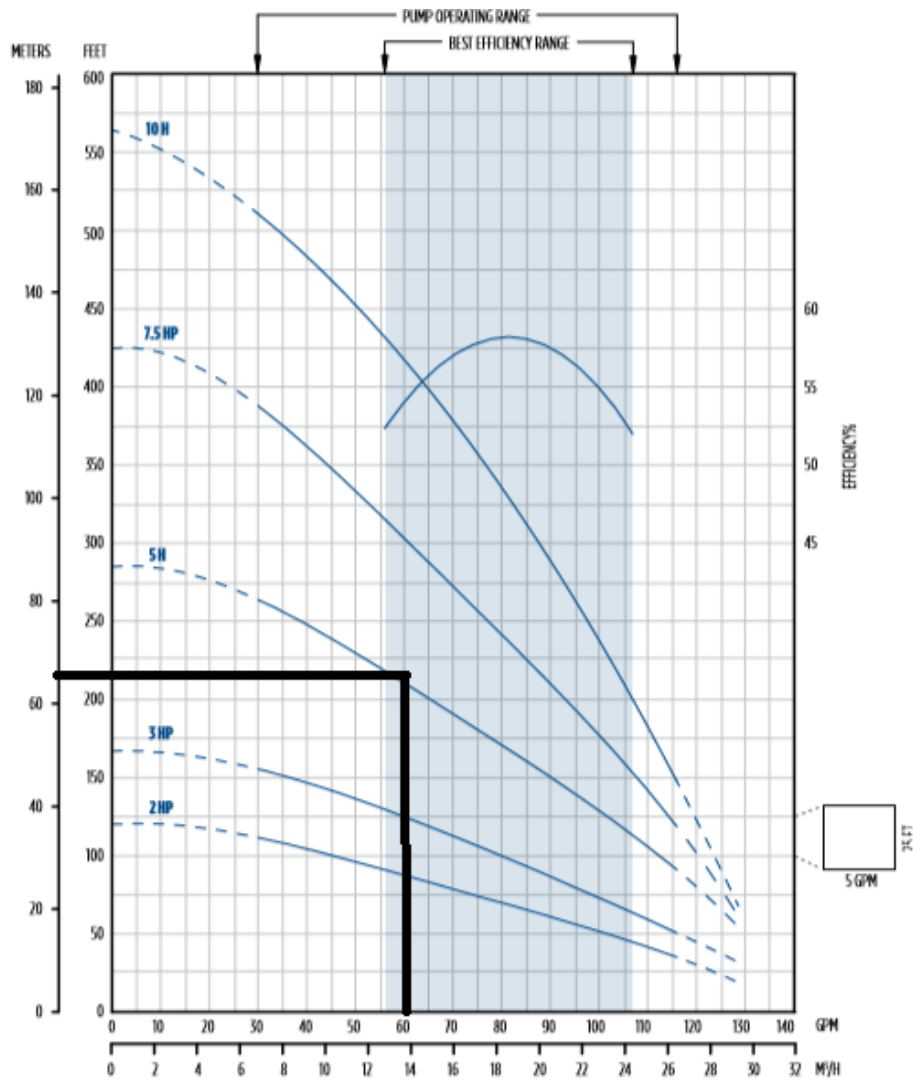


Figura 9. Curva característica de la bomba. Fuente Franklin Electric, 2019

4.5 Fertirrigación

Se requiere valorar el estado de fertilidad del suelo mediante análisis químicos. A continuación se tabulan el histórico de Análisis de suelos que tiene la finca Agrícola Industrial Sukia S.A.

Cuadro 14. Histórico de Análisis de fertilidad de suelos de para los lotes de cultivos de Agrícola Industrial Sukia S.A.

Fecha	Lote	pH	Acidez	Ca	Mg	K	Cu	Fe	Mn	Zn	P	B	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/K	Saturación de acidez	CIC E
			cmol(+)/L				mg/L									%		
2015	24	5.4	0.2	15.5	2.9	0.5	7.0	127.0	12.0	3.5	23.8	0.2	5.4	6.4	40.7	34.3	1.1	18.8
2015	41	6.2	0.3	16.9	3.3	0.5	5.0	75.0	7.0	1.6	19.1	0.6	5.1	7.2	44.0	36.8	1.2	20.7
2011	plátano	6.6	0.1	9.4	2.5	0.3	7.8	88.1	7.6	3.7			3.7	7.4	34.9	27.6	1.1	12.2
2011	plátano	6.7	0.1	10.2	2.3	0.3	6.8	85.9	5.9	3.3			4.5	8.8	48.0	39.2	1.1	12.7
2011	plátano	5.7	0.2	9.4	3.5	0.4	6.8	70.4	9.4	3.3			2.7	10.0	36.9	26.9	1.1	13.3
2011	plátano	5.7	0.1	8.8	3.0	0.2	6.7	62.6	7.5	2.8			3.0	14.0	56.0	42.0	1.2	12.0
2011	plátano	5.9	0.1	9.0	3.5	0.4	7.7	54.6	8.5	3.5			2.6	8.0	29.0	20.9	1.1	12.9
2009	limones	5.0	0.7	10.7	2.6	1.5	5.3	129.0	29.9	2.2	60.9	1.5	4.1	1.8	9.2	7.4	4.2	14.8
2009	terreno nuevo	4.9	0.9	13.5	2.6	3.6	7.6	203.0	41.0	2.6	51.8	1.7	5.3	0.7	4.4	3.7	4.2	19.7
2009	terreno nuevo	5.6	0.9	20.7	4.6	2.7	6.2	136.4	30.8	3.7	51.4	2.2	4.5	1.7	9.2	7.6	3.0	28.0
2005	cultivo varios	5.8	0.1	17.9	3.4	1.1	10.0	122.0	7.0	4.0	24.0		5.3	3.1	19.6	16.5	0.4	22.4
2005	cultivo varios	5.6	0.1	15.3	3.4	0.6	11.0	104.0	7.0	3.9	16.0		4.5	5.7	31.6	25.9	0.7	19.3
2005	cultivo varios	5.7	0.1	18.2	4.3	0.5	6.0	75.0	20.0	3.1	10.0		4.2	8.1	42.5	34.4	0.6	23.1
Bajo		5	0.3	4	1	0.2	1	10	5	3	10		2	2.5	10	5	10	5
Rango		5 a 6	0.3 a 1.5	4 a 20	1 a 10	0.2 a 1.5	1 a 20	10 a 50	5 a 50	3 a 15	10 a 40		2 a 5	2.5 a 15	10 a 40	5 a 25	10 a 25	
alto		6	1.5	20	10	1.5	20	50	50	15	40		5	15	40	25	25	>5

Del histórico de los análisis de fertilidad de Agrícola Industrial Sukia S.A. mostrado en el cuadro 14 se determinan las siguientes condiciones:

a. El pH y la Acidez están estables. No se requiere enmienda para contrarrestar la acidez. Pero se propone usar fuentes de enmiendas con Magnesio a fin de equilibrar las relaciones entre bases. La enmienda resultante sería la cal dolomita a una razón de 200 kg/ha con la finalidad de adecuar la zona de fertilización y aportar magnesio y calcio a la matriz del suelo.

- b. El calcio se encuentra estable en un rango alto y genera un desbalance de bases entre magnesio y potasio. Con el calcio de la enmienda es suficiente.
- c. El Magnesio está estable en el rango bajo y se recomienda aplicar el programa completo.
- d. El potasio ha tendido a la baja y en las aplicaciones actuales el aporte está muy por debajo de lo requerido por el cultivo, se recomienda aplicar el programa completo.
- e. El Cobre, Hierro y Manganeso, no requieren de complementar en el suelo.
- f. El Zinc es un elemento limitante y muy importante para producción de papaya y plátano (define la calidad y cantidad de la cosecha) según un estudio local realizado por (Furcal, 2015) fue el elemento que marco diferencias significativas en el programa de aplicación en el cultivo de plátano. Se recomienda su requerimiento completo.
- g. El Fósforo es muy importante a la siembra para dar energía, pero se fija al suelo su disponibilidad se limita. Se aplica un cantidad inicial granular a la siembra y se completa con una dosis de mantenimiento en forma periódica.
- h. El Boro se recomienda aplicarlos para mantenimiento, lo que limita el ingreso a la planta es la baja humedad en el suelo. La aplicación con fertirriego es muy oportuna.

Todo lo anterior se realizó usando como referencia los colores descritos en el cuadro 14.

4.5.2 Necesidades nutricionales de un cultivo

Las necesidades nutricionales de los cultivos van a depender de una cosecha esperada, con la lógica de que a más cosecha se requiere mayor demanda de fertilizante hasta que se alcanza el potencial genético de la variedad utilizada en el cultivo. Basados en estudios locales se cuenta con curvas de extracción realizadas por Bertsch, (2003), las cuales determinan la proporción de elemento requerido por las plantas y en que etapas lo requieren.

La cosecha esperada por hectárea para los cultivos de plátano y papaya se tabula en el cuadro 15 y 16, respectivamente.

Cuadro 15. Variables para estimar las toneladas de cosecha esperadas en el cultivo de plátano. La cosecha esperada es de 18 toneladas de plátano.

Variables (unidades)	Cantidad
Densidad (plantas/hectárea)	3,000
Eficiencia %	80%
Unidades (dedos por racimo)	25
peso por dedo (Kg)	0,3
Cosecha (ton/hectárea)	18

Cuadro 16. Variables para estimar las toneladas de cosecha esperadas en el cultivo de papaya. La cosecha esperada es de 100 toneladas de papaya.

Variables (unidades)	Cantidad
Densidad (plantas/hectárea)	1,600
Eficiencia %	90%
Kilogramos por árbol	70
Cosecha (ton/hectárea)	100

Fuente: Floria Bertsch (2003)

Las demandas de nutrientes para lograr una cosecha determinada, se presentan a continuación en los cuadros 17 y 18, los cuales definen la extracción de elementos nutritivos para lograr un rendimiento en cosecha de referencia, publicados por Bertsch, (2003).

Cuadro 17. Demanda de nutrimentos para una producción de plátano

Rend t/ha	PLÁTANO												
	ABSORCIÓN SEGÚN EL RENDIMIENTO					ABSORCIÓN POR TONELADA							
	TOTAL (kg/ha)					COSECHA (kg/ha)							
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K
23.3						39	4	118			1.7	0.2	5.1
30.0						75	9	188	14	18	2.5	0.3	6.3
6.8	95	11	253	82		62	7	181	79		14.0	1.6	37.5
											9.3	1.0	26.8

Fuente: Floria Bertsch (2003)

Cuadro 18. Demanda de nutrientes para una producción de papaya

Rend t/ha	ABSORCIÓN SEGÚN EL RENDIMIENTO					PAPAYA ABSORCIÓN POR TONELADA		
	COSECHA (kg/ha)					COSECHA (kg/t)		
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K
1.0	1.7	0.3	1.2	0.2	0.2	1.7	0.3	1.2
1.0	1.8	0.2	2.1	0.4	0.2	1.8	0.2	2.1
1.0	1.8	0.2	2.2	0.5	0.3	1.8	0.2	2.2
1.0	1.8	0.3	2.3	0.5	0.3	1.8	0.3	2.3
1.0	1.8	0.3	2.7	0.7	0.3	1.8	0.3	2.7
	1.8	0.2	2.1			1.8	0.2	2.1
	0.1	0.0	0.5			0.1	0.0	0.5
	3%	10%	25%					

Fuente: Floria Bertsch (2003)

Con la obtención estimada de la cosecha esperada para los cultivos de plátano y papaya, se interpola con la demandas de nutrientes para un rendimiento en cosecha reportado. Y se multiplica para convertir los elementos nutritivos en una fuente oxidada disponible comercialmente. De manera resumida tenemos dicha información en los cuadros 19 y 20 para cada cultivo.

Cuadro 19. Demanda nutricional de elementos comerciales para la obtención de una cosecha esperas de 18 ton/ha de plátano.

Fuente: Floria Bertsch. 2003	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)
Requerimiento para 18 ton/ha en cosecha de plátano	45	5,4	169	12	12
Elemento Oxidado	N	P2O5	K2O	CaO	MgO
Factor de multiplicación	1	2,29	1,2	1,4	1,66
Kg/ha que extrae la cosecha	45,0	12,4	202,8	16,8	19,9
Desarrollo Kg/ha	95				
Total	140,0	12,4	202,8	16,8	19,9

Fuente: Floria Bertsch (2003)

Cuadro 20. Demanda nutricional de elementos comerciales para la obtención de una cosecha esperas de 100 ton/ha de papaya.

Fuente: Floria Bretsch. 2003	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)
Requerimiento para 18 ton/ha	180	30	230	0,5	0,3
Elemento Oxidado	N	P2O5	K2O	CaO	MgO
Factor de multiplicación	1	2,29	1,2	1,4	1,66
Kg/ha que extrae la cosecha	180,0	68,7	276,0	0,7	0,5
Total	180,0	68,7	276,0	0,7	0,5

Fuente: Floria Bertsch (2003)

4.6 Análisis Económico

El análisis consistió en cuantificar los beneficios económicos futuros generados por el sistema de riego contrastado con el valor actual neto de la inversión y los costos de funcionamiento del equipo, como podemos ver en el cuadro 21.

Cuadro 21. Beneficio económicos del sistema de riego

	Beneficio Económico en colones
Actividades que impactan en la implementación de un sistema de riego en Agrícola Industrial Sukia S.A.	
La mortalidad normal de las plantas de plátano es de un 10% por condiciones adversas. Esta problemática se puede disminuir a un 4%. Se siembran 31,200 plantas de plátano al año, las estrategia mejora en (3,120 racimos de plátano se pierden, con la estrategia del riego solo se pierden 1248 racimos) para un rescate de 1,872 racimos al años, que equivale a una recuperación de 3, 744,000 colones al año. Con un valor de 2,000 colones el racimo.	3,744,000
La posibilidad para dejar segundas cosecha en el cultivo de plátano es una alternativa viable con un sistema de riego. El control de picudos y nematodos en la banda de cultivo se facilita con la aplicación de nematicidas en el fertirriego. Con esta estrategia se logran 2 cosechas en 2 años y sin el sistema de riego con una sola cosecha se puede lograr 1,5 cosechas en dos años en el mismo terreno. En una misma área cultivo en promedio se producen 8,000 dedos semanales, la mejora representa un incremento en productividad en 2,000 dedos semanales con un precio promedio de 80 colones, para un beneficio económico de 8, 320,000 colones anuales. Además se economiza la preparación de terreno en un ciclo, que equivale a 300,000 colones por hectárea en una área de 5 ha al año, para una ahorro de 1,500,000 colones anuales	9,820,000

Es posible con el sistema de riego mejorar la productividad del cultivo de papaya en épocas de alto valor. El cultivo es muy succulento y demanda mucha agua para producir en la época seca, se asume un incremento en productividad de un 25% al tener sistema de riego. Se producen 800 kg de papaya por semana actualmente. Con el sistema de riego pasaría a producir 1,000 kg de papaya para un incremento de 200 Kg por semana a 200 colones por kg. 2,080,000

La eficiencia en nutrición de cultivos con el fertirriego con elementos como el Boro y el Zinc que se aplican vía foliar con el equipo de aspersión en la actualidad tienen un costo relevante. Además las fórmulas de fertilizantes granulados con macroelementos se aplican en forma manual. Con la aplicación del fertirriego se genera un ahorro de 200 horas de aplicación spray boom a un costo de 6,200 la hora (mano de obra y equipo). La fertilización granular se realiza con mano de obra una vez al mes total de 576 horas anuales en mano de obra a costo 1,876 colones por hora. Con el sistema de fertirriego esas labores no se realizan generando un ahorro. 2,320,574

Total de beneficio económico. En colones 17,964,574

Peón Agrícola 10,358 – 1,294 colones/ hora.

Fuente: Ministerio de trabajo (2019).

Se elaboró el cuadro 22 con los costos operativos del sistema de riego.

Cuadro 22. Costo de operación del sistema de riego

Costos operativos del sistema de riego y fertirriego	Costo Económico en colones
Realizar la mezcla y disolución del fertirriego (288 horas al año) por un costo de 1,876 colones la hora.	540,288
Costo de electricidad (12,000 al mes)	14,400
Mano de obra de operación (24 hr/ha en 12 ha al año), reparación de emisores (24 hr/ha en 12 ha al año), renovación de plantación (40 hr /ha en 5 ha al año) = 776 hr al año por un costo de 1,876 colones la hora.	1,457,760
Total	2,012,448

Para el balance económico se utilizó los costos del sistema de riego de la cotización de Agrovit Riegos la cual es de 34,14 millones de colones tal y como se ve en la cotización realizada colocada en los anexos 10, 11 y 12. Se realizaron los cálculos con lo dato del Banco Nacional, que facilita una línea de crédito para pymes que estable un interés del 12% anual, además solo financia el 90% del sistema de riego. En el cuadro 23 se adjunta el balance económico.

Cuadro 23. Balance económico de la implementación del sistema de riego

	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Ingresos ₡		17,964,574	22,534,762	25,238,933	28,267,605	31,659,718	35,458,884	39,713,950	44,479,624	49,817,179	55,795,240
Costos ₡		36,393,942	2,524,415	2,827,345	3,166,626	3,546,621	3,972,216	4,448,881	4,982,747	5,580,677	6,250,358
Depreciación ₡		3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000
Intereses ₡		3,072,600	2,836,058	2,575,863	2,289,647	1,974,811	1,628,490	1,247,538	828,490	367,537	0
UIA ₡		-24,915,968	13,760,288	16,421,726	19,397,332	22,724,286	26,444,178	30,603,531	35,254,387	40,454,964	46,130,882
impuestos 10% ₡		0	1,376,029	1,642,173	1,939,733	2,272,429	2,644,418	3,060,353	3,525,439	4,045,496	4,613,088
UDI ₡		-24,915,968	12,384,260	14,779,553	17,457,598	20,451,857	23,799,760	27,543,178	31,728,948	36,409,468	4,151,794
Pago principal ₡		2,365,415	2,601,957	2,862,153	3,148,368	3,463,205	3,809,525	4,190,478	4,609,525	5,070,478	5,438,015
Depreciación ₡		3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000	3,414,000
Venta de equipo ₡											3,414,000
FNE ₡		-23,867,383	13,196,303	15,331,400	17,723,231	20,402,653	23,404,235	26,766,700	30,533,422	34,752,990	42,907,778
Factor TMAR %		1,120	1,254	1,405	1,574	1,762	1,974	2,211	2,476	2,773	3,106
FNE descontado ₡		-21,310,164	10,520,012	10,912,588	11,263,433	11,577,013	11,857,314	12,107,896	12,331,937	12,532,277	13,815,156

Se obtuvo un VAN de 82. 193.462 colones aplicado a un periodo de 10 años y se obtuvo un TIR de un 51% resultando una inversión favorable

5 CONCLUSIONES

- a) La necesidad hídrica para los cultivos de papaya y plátano se determinó en 2,27 milímetros por día en la época más crítica.
- b) En el diseño de la tubería principal se obtuvo un diámetro de 55 milímetros en el material polietileno de baja densidad.
- c) En el balance hidrológico confirmó que la finca Agrícola Industrial Sukia tiene un déficit hídrico en los meses de febrero, marzo y abril. Los demás meses presentan precipitaciones que sobrepasan el consumo hídrico del cultivo afectando la eficiencia de la fertilización de los cultivo por lixiviación.
- d) El sistema de riego se justifica económicamente en Agrícola industrial Sukia con una tasa interna de retorno (TIR) de un 51 %, siempre y cuando se aproveche el recurso en hacer eficiente la fertilización por medio de fertirriego y aprovechar la oportunidad de mantener la productividad en época seca.

6 RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda monitorear continuamente el cambio climático con la finalidad de proyectar la afectación y rediseños que pueda requerir el sistema de riego.
- b) Se recomienda desarrollar el proyecto en forma segmentada con la finalidad de generar una cultura de fertirriego que nos es común en la zona.
- c) Se recomienda concientizar el personal que realiza labores agrícolas como la chapia, deshija y cosecha para resguardar la estructura de riego que se dispone en el campo de cultivo.
- d) Se recomienda hacer pruebas de mezclas en los fertilizantes con la finalidad asegurarse de que no reaccionen entre sí.
- e) Se recomienda capacitar el personal para el uso adecuado del sistema de riego y fertirriego.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Araya, M. V. (2015). Riego a Presión. Cartago, Costa Rica.
- Bermad (2018). Catalogo valvulas de la serie 100. Obtenido de www.bermad.com
- Bertsch H. Floria (2003). Absorción de nutriente por los cultivos.—1° ed. San Jose, Costa Rica, ACCS.
- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo, asociación Costarricense de la ciencia del suelo, 1ª ed. San José, C.R, p 25-75.
- Betrisa (2010), Catálogo de productos Betrisa, España, Tarragona.
- Bogantes A. Antonio (2012) Guía para la producción de papaya en Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y transferencia Tecnológica Agropecuaria. Estación Los Diamantes.
- Burt, C., O'Connor, K., Ruehr, T., (1998). FERTIRRIGATION. California: The Irrigation Training and Research Center.
- Cadahia López, C. (1998). Fertirrigación, Cultivos hortícolas y ornamentales. España: Mundi-Prensa.
- Espinosa et al., (1996). Fertilización del plátano en altas densidades. Consultado 13 agosto 2011. Disponible en <http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/.../Fertilización%20del%20plátano.pdf>
- HYDRO ENVIRONMENT. (2018). Obtenido de https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=151
- INEC, (2104) censo agropecuario nacional http://inec.cr/agropecuario?keys=p1%C3%A1tano+&shs_term_node_tid_depth=All&field_periodo_tid=All&field_anio_documento_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=
- Leiton, J. S. (1985). Riego y drenaje. San Jose Costa Rica: EUNED.
- Lesur, Luis. (2006), Manual de Maquinaria agrícola y labranza de tierras; Una guía paso a paso. México, Trillas, 2006. 80 p.
- Palencia G. (2006), Manejo sostenible del cultivo de plátano, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Colombia, p 13-24.
- Regaber. (2018). Obtenido de <https://regaber.com/productos/agricultura/category/valvuleria-ag>

- Soto Ballesteros, M. (2015). Bananos, Tecnologías de Producción. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Soto Ballesteros, M. (1985). El banano, cultivo y comercialización, San José, CR, Imprenta y litografía LIL, p 85 – 176.
- Masis flores, B. (2011). Diseño de un sistema de riego por aspersión sub-arbóreo para el cultivo de banano, finca san Gerardo parrita, Puntarenas. Costa Rica, Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Valverde Conejo, J.C., Villalobos Araya, M., (2016). Principios de Riego y Drenaje en Suelos Tropicales. San José, C.R.: EUNED.
- Villón M. (2004). Drenaje. Primera Edición, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de información Tecnológica, Cartago, Costa Rica. 544p.

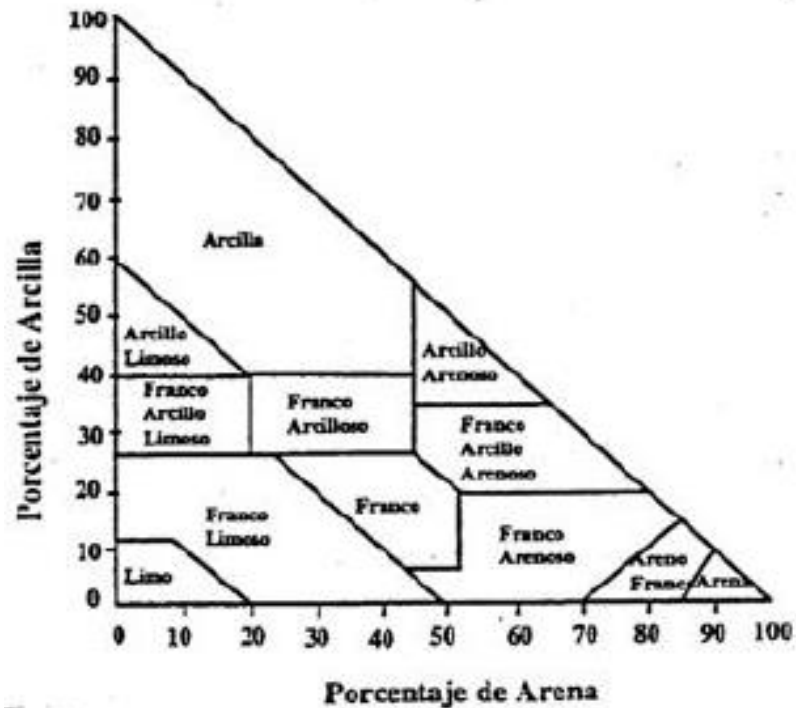
8 ANEXOS

Anexo 1 Aspersor AK panaplats modelo 3003, con boquilla negra que dosifica una caudal de 70 litros por hora y cubre una diámetros de mojado de 7 metros a una precios de trabajo de 2 bares

3003 Pal Rotating Super Sprayer Παλ Σούπερ Τζετ	CODE ΚΩΔΙΚΟΣ		Specifications-Χαρακτηριστικά nozzle ακροφύσιο		D(m)		Packing-Συσκευασία pos/bag Τεμ/σακ		pos/cart Τεμ/κιβ	
		3003/0040	40	Orange-Πορτοκαλί	5,0	100	4000 E			
	3003/0070	70	Black-Μαύρο	7,0	100	4000 E				
	3003/0090	90	Green-Πράσινο	7,5	100	4000 E				
	3003/0105	105	Blue-Μπλε	8,0	100	4000 E				
	3003/0120	120	Red-Κόκκινο	8,0	100	4000 E				
	3003/0140	140	Pink-Ροζ	8,5	100	4000 E				
	3003/0160	160	Brown-Καφέ	8,5	100	4000 E				
	3003/0200	200	Yellow-Κίτρινο	9,0	100	4000 E				
	3003/0250	250	White-Άσπρο	9,0	100	4000 E				
	3003/0300	300	Olive-Λαδί	9,5	100	4000 E				

Fuente, Panaplast 2018

Anexo 2 Obtención de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente con relación a la textura del suelo.



Fuente: Flores L. y Acalé J.R. 2010

Anexo 3. Propiedades físicas del suelo en función a su textura.

Textura	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Porosidad (%)	Densidad aparente (Mg/m ³)	CC (% en peso)	PMP (% en peso)	CRAD (% en vol)
Arenoso	5 (2.5-25)	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.8)	9 (5-16)	4 (2-6)	8 (6-10)
Franco arenoso	2.5 (1.3-7.6)	43 (40-47)	1.5 (1.4-1.6)	14 (10-20)	6 (4-8)	12 (9-15)
Franco	1.3 (0.8-2.0)	47 (43-49)	1.4 (1.35-1.5)	22 (15-30)	10 (8-12)	17 (14-20)
Franco arcilloso	0.8 (0.25-1.5)	49 (47-54)	1.35 (1.3-1.4)	27 (25-35)	13 (11-15)	19 (16-22)
Arcillo limoso	0.25 (0.03-0.5)	51 (49-53)	1.3 (1.3-1.4)	31 (27-40)	15 (13-17)	21 (18-23)
Arcilloso	0.05 (0.01-1.0)	53 (51-55)	1.25 (1.2-1.3)	35 (30-70)	17 (15-19)	23 (20-25)

CC, capacidad de campo; PMP, punto de marchitamiento permanente; CRAD, capacidad de retención de agua disponible. Los valores entre paréntesis corresponden al rango más común.

Fuente: Flores L. y Acalé J.R. 2010

Anexo 4. Solubilidad de las fuentes comerciales de fertirrigación.

	Cantidad máxima (kg) disuelta en 100 L a 20°C	Tiempo para disolver (min)	pH de la solución	Insolubles (%)	Comentarios
Urea	105	20 ¹	9,5	Despreciable	La solución se enfría a medida que se disuelve la urea.
Nitrato de amonio NH ₄ NO ₃	195	20 ¹	5,62	–	Corrosivo para el hierro galvanizado y bronce.
Sulfato de amonio (NH ₄) ₂ SO ₄	43	15	4,5	0,5	Corrosivo para el acero común.
Fosfato mono-amónico MAP	40	20	4,5	11	Corrosivo para el acero al carbono.
Fosfato diamónico DAP	60	20	7,6	15	Corrosivo para el acero al carbono.
Cloruro de potasio KCl	34	5	7,0–9,0 ²	0,5	Corrosivo para el bronce y el acero común.
Sulfato de potasio K ₂ SO ₄	11	5	8,5–9,5 ²	0,4–4 ²	Corrosivo para el acero común y el concreto.
Fosfato mono-potásico MKP	213	–	5,5±0,5	<0,1	No corrosivo.
Nitrato de potasio KNO ₃	31	3	10,8	0,1	La solución se enfría a medida que el producto se disuelve. Corrosivo para los metales.

¹La temperatura de la solución cae a 0°C; por eso toma más tiempo para que se disuelva todo el material.

²Estos datos están dentro del rango encontrado en varios análisis y se refieren a fuentes de diferentes orígenes.

Anexo 5. Compatibilidad de los fertilizantes en fertirrigación

Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-compatibilidad-de-los-fertilizantes-en-fertirrigacion> - Esta información es propiedad intelectual de **INTAGRI S.C.**, Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.

FERTILIZANTES	Urea	Nitrato de Amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de Calcio	Nitrato de magnesio	Fosfato monoamónico	Fosfato monopotásico	Nitrato de potasio	Sulfato de potasio	Cloruro de potasio	Ácido fosfórico	Ácido nítrico	Ácido sulfúrico	Sulfatos Fe, Cu, Mn, Zn	Quelatos
Nitrato de Amonio	C														
Sulfato de amonio	I	C													
Nitrato de Calcio	C	C	I												
Nitrato de magnesio	C	C	C	C											
Fosfato monoamónico	C	C	C	I	I										
Fosfato monopotásico	C	C	C	I	I	C									
Nitrato de potasio	C	C	R	C	C	C	C								
Sulfato de potasio	C	C	R	I	I	C	C	C							
Cloruro de potasio	C	C	C	I	C	C	C	C	R						
Ácido fosfórico	C	C	C	I	I	C	C	C	C	C					
Ácido nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
Ácido sulfúrico	C	C	C	I	I	C	C	C	R	C	C	C			
Sulfatos Fe, Cu, Mn, Zn	C	C	C	I	I	I	C	C	R	C	C	C	C		
Quelatos	C	C	C	R	R	R	C	C	C	C	R	I	C	C	
Sulfato de Magnesio	C	C	C	I	I	I	C	C	R	C	C	C	C	C	C

C: Compatible, R: Se reduce la solubilidad, I: Incompatible.

Anexo 6. Válvula solenoides inalámbricas con control programable propuestas en el proyecto.
Fuente: Catálogo de productos de Agrovit.

Programming Features

- Four start times per day provides added flexibility for any type of watering application including sandy or clay soil
- Valve duration up to 5 hours 59 minutes in one-minute increments
- Custom programming with a weekly calendar, odd days, even days or intervals of one to thirty (1-30) days utilizing yearly calendar with leap year
- Rain Delay with up to 99 days with auto restart

Fully waterproof construction

Large LCD and easy-to-read icons

Simple, icon-based programming

One button manual watering



Available solenoid valve adapters

Model	Compatible valves
30-920	BERMAD series 200, HIT series 500, DOROT series 80, GRISWOLD series 2000, DW and BÜCKNER series VB valves
*30-921	RAIN BIRD DV, DVF, PGA, PEB (1" only), GB, EFB-CP, BPE, PESB (1" only) and ASVF valves
*30-922	HUNTER series ASV, HPV, ICV, PGV, SRV, IBV and ASVF valves
30-923	WEATHERMATIC series 12000, 21000, 8200CR valves
*30-924	IRRITROL series 100, 200B, 205, 217B, 700, 2400, 2500, 2600 and TORO series 220, P220 valves
30-925	SUPERIOR series 950, HUNTER HBV and TORO series 252 valves (1.5" and larger)
30-926	RAIN BIRD SERIES PEB and PESB (1 1/2" and 2" ONLY) valves

* Included with model 400A-000

How to specify

Model	Description
400A Controller only	
400A-000	Controller with 3 adapters
400A In-Line Valve	
400A-075	¾"
400A-100	1"
400A-150	1 ½"
400A-200	2"
400A In-Line Valve with BSP thread	
400A-075BSP	¾"
400A-100BSP	1"
400A-150BSP	1 ½"
400A-200BSP	2"

3 year manufacturer warranty

Anexo 7. Válvulas solenoides con control inalámbrico

Fuente: Catálogo de productos de Agrovit.



200 SERIES PVC VALVES

- Available in 1", 1½", and 2" sizes, NPT or BSP threads
- 1" available with female thread or socket inlet/outlet
- Virgin PVC material construction (NSF approved material)
- Internal manual bleed lever standard on all valves
- Heavy duty diaphragm
- Manual bleed can be removed for "tamper proof" operation
- Flow range from 5 to 120 GPM
- 1½" and 2" provided with both bottom (angle) or side inlet
- All stainless steel fasteners and components
- Standard 24 VAC 60 Hz solenoid (black wire) Hex plunger design for sandy water conditions
- Special 24 VAC 50 Hz solenoid for European and Australian power (white wire)
- 1" available with or without flow control stem
- 1½" and 2" standard with flow control stem
- Operating pressure range from 15 PSI to 150 PSI
- Suitable for residential and commercial applications

SPANISH

- Disponible en 1", 1½" y 2" con roscas NPT o BSP
- Electroválvula de 1" disponible con rosca hembra o lisa
- Fabricadas 100% en PVC (material aprobado por la NSF)
- Palanca de apertura manual con desagüe interno en todas las válvulas
- Diafragma resistente
- La apertura manual puede ser inutilizada para evitar manipulaciones no autorizadas
- Rango de caudal desde 1136 hasta 27252 l/h
- Los modelos de 1½" y 2" incorporan dos configuraciones en la misma electroválvula: en línea y en ángulo
- Tornillos y componentes en acero inoxidable
- Solenoide 24 VAC 60 Hz (cable negro). Diseño de pistón hexagonal para su uso en aguas sucias
- Solenoide 24 VAC 50 Hz para Europa y Australia (cable blanco)
- Electroválvula de 1" disponible con o sin regulador de caudal
- Modelos de 1½" y 2" con regulador de caudal incorporado de serie
- Presión de funcionamiento: 0,7 - 10,5 bar
- Adecuado en aplicaciones residenciales y públicas

Anexo 8. Especificaciones técnicas de las válvulas solenoides.

Fuente: Catálogo de productos de Agrovit.



SPECIFICATIONS

200 SERIES PVC VALVES

SPANISH

Especificaciones Operativas

- 1" Flujo: 1 - 6.8 m³/hr; 3 - 115 l/min
- 1 1/2" Flujo: 1 - 18.1 m³/hr; 18 - 305 l/min
- 2" Flujo: 1 - 27.3 m³/hr; 18 - 455 l/min
- Presión operativa: 1 - 10.3 bars; 103 - 1035 kPa

Especificaciones Eléctricas:

- 24 CA
- Corriente de entrada: 350 mA
- Consumo 250 mA
- Ciclos: (cables blancos) 50 Hz o (cables negros) 60 Hz

Características

- Purgador manual interno
- Componentes de acero inoxidable
- Fabricado en PVC
- Tapón provisto para entrada no utilizada (1 1/2" y 2")
- La velocidad recomendada no deberá exceder 5 fps del correspondiente tamaño de tubería

Anexo 9. Controlador de riego solar propuesto en el proyecto.

Fuente: Catálogo de productos de Agrovit.

LEIT-1

CONTROLADOR DE RIEGO IMPULSADO CON LUZ AMBIENTE

Características de Programación

- Cinco tiempos de inicio por día proporciona flexibilidad para cualquier tipo de aplicación de riego incluyendo el suelo arenosa o con arcilla
- Duración de válvula hasta 6 horas en incrementos de un minuto
- 20 programas de preselección histórico ET con 10 zonas climáticas 10 para riego por goteo y 10 para sistemas de aspersión
- Ajuste de Presupuesto mensual de temporada (0 a 200%) en incrementos de 5% sin modificar la duración del programa del controlador; también se puede utilizar para ajustar el programa ET preestablecido para cada mes
- Demora de lluvia hasta 99 días con reinicio automático



Disponible en 3 Configuraciones



LEIT-1 Válvula Antisifón



LEIT-1 Válvula con Accionador



LEIT-1 Válvula de Línea

Cómo especificar

Modelo	Descripción
LEIT-1 Válvula Antisifón	
LEIT1ABV0738SP	1/2"
LEIT1ABV1008SP	1"
LEIT-1 Válvula con Accionador	
LEIT1MVA	1/2"-1"
LEIT-1 Válvula de Línea	
LEIT1 LV-0738SP	1/2"
LEIT1 LV-1008SP	1"
LEIT1 LV-1508SP	1.5"
LEIT1 LV-2008SP	2"

Garantía de 3 años de fabricación

Anexo 10. Controlador modular de riego

Fuente: Catálogo de productos de Agrovit.



RAINPRO MODULAR CONTROLLERS

- Dial control for easy programming
- Expandable modular design: 3, 7, 11 or 15 stations
- Three programs with 4 start times each
- 1 minute to 6 hour run times per station
- Water budget 10% to 150%
- Programmable pump start/master valve by station
- Detachable faceplate for remote programming (9 volt battery required)
- High temperature LCD display
- 1-31 day calendar with odd/even water day option
- Base model 3 stations with programmable pump start/ master valve
- Each module for 4 stations, up to 3 modules for 7, 11 or 15 stations
- Available in 110 VAC or 220 VAC
- Indoor and outdoor models available
- Rain sensor with On/Off override capabilities
- Programmable pause between stations
- Memory backup for programming

SPANISH

- Rueda de programación para una mayor sencillez en la programación
- Diseño modular expandible, 3, 7, 11 ó 15 estaciones
- Tres programas con 4 horas de inicio de riego cada uno
- Tiempos de riego por estación de 1 minuto a 6 horas
- Porcentaje de agua entre un 10% y un 150%
- Válvula maestra/arranque de bomba programable por estación
- Panel frontal extraíble para una cómoda programación (requiere una pila de 9V)
- Pantalla LCD resistente a altas temperaturas
- Calendario de 1-31 días, opción para días pares/impares
- Modelo base con 3 estaciones con válvula maestra/arranque de bomba
- Módulos de 4 estaciones, ampliable a 7, 11 ó 15 estaciones
- Disponible para 110 VAC o 220 VAC
- Disponibilidad de modelos para interior y exterior
- Salida para sensor de lluvia con interruptor
- Pausa entre estaciones programable
- Revisión de memoria para programación



Santo Domingo de Heredia, 20 de mayo, 2019

Msc. Rodolfo Salazar Morera
AGRÍCOLA INDUSTRIAL SUKIA S.A.
Ciudad Quesada
Presente.

Estimado señor:

Permítame saludarle, el propósito de la siguiente es presentarle una cotización por suministro de equipo de riego por micro aspersión de operación automatizada o manual, para 32 Parcelas o Lotes de cultivo en mini domos ubicados en La Vega.

Aplican datos y planos suministrados por la finca así como visitas al sitio, mini domos de 5,1 metros de ancho entre colectores y 3,2 metros entre las dos líneas de siembra, y una lamina de 2,7mm/cm² para anegar 50 % de lotes durante la época seca, y permita prácticas de fértil irrigación durante todo el año al 100 % del área en caso dado.

Descripción del equipo:

Se diseña como emisor de riego un micro aspersor modular modelo PAL SUPER 11,100 unidades de marca AK Palaplast de Grecia, con Boquilla negra que a 2 Atm descarga 70 lph con un radio de cobertura de 3,5 metros, montado sobre una estaca de 40 cm y micro tubo 7mm que se insertaría en los laterales de riego dichas tuberías serían de polietileno de baja densidad en diámetros de 16mm, 20mm 25mm de 2,5 Atm y 32mm de 4 Atm, marca Kira de España y los accesorios de serán de inserción.

Los divisores serían de polietileno de baja densidad en diámetros de 25mm, 32mm y 50 mm de 4 Atm, la tubería madre en mayoría de

Agrovit Riegos S.A.
Céd Jurídica: 3-101-464343
Tel: (506) 22912946
<http://www.agovitriegos.com>



63mm de 4 y 6 Atm, accesorios de acople rápido y 8 válvulas de aire y vació en la red.

La automatización se hace con 58 electro válvulas de globo en 1", 1 ½" y 2" 24 VAC cada una con un decodificador y su respectiva caja cubre válvula tapa verde, el Logic Plus controlador de 128 estaciones marca RAIN PRO (U.S.A.) al igual que los accesorios mencionados, esta tecnología operaría todas las válvulas con solo 2 cables (no incluido en la cotización) cableado recomendado #14 (1800 metros de un color y 1800 metros de otro) estas protegida por tubería conduit 12mm tipo A si contemplada en la cotización.

Incluye Un banco de filtrado con retro lavado manual compuesto con dos filtros de anillos y dos de malla ambos de 120 mesh, además de un inyector venturi en 1 ½", válvula de aire doble propósito y manómetros.

El costo por el suministro del riego anterior mente descrito por **\$73,400.00** .

El costo por el suministro del riego anterior mente descrito en **operación Manual** por **\$56,900.00**.

Condiciones de pago:

- A convenir
- Validez de oferta 30 días naturales.
- Garantía un año contra defectos de fábrica o instalación.
- Precios exentos, cualquier impuesto que sea determinado por Hacienda y Aduanas lo tendrá que cancelar de contado el cliente.

Agrovit Riegos S.A.
Céd Jurídica: 3-101-464343
Tel: (506) 22912946
<http://www.agrovitriegos.com>



Nota:

Este diseño requiere una presurización mínima de 60 metros (sin contar la profundidad en el pozo) con un caudal de 14,000 litros hora- Proyecto no incluye mano de obra u obras civiles en concreto, ni acometidas eléctricas.

Agradeciendo su atención, esperando resolver cualquier consulta.

Atentamente,

Ing. Carlos Villalobos Quirós
AGROVIT RIEGOS S.A.

Agrovit Riegos S.A.
Céd Jurídica: 3-101-464343
Tel: (506) 22912946
<http://www.agrovitriegos.com>

Anexo 14. Número de aspersores por lote

lote	Microaspersores
1	880
2	340
3	360
4	420
5	170
6	610
7	252
8	150
9	322
10	88
11	243
12	233
13	394
14	230
15	280
16	49
17	290
18	682
19	34
20	22
21	442
22	933
23	613
24	334
25	732
26	355
27	210
28	260
29	132
30	168
31	520
32	324
Total	11072

Anexo 15. Número de laterales por diámetro por lote

LOTE	Diámetro de 32 mm		Diámetro de 25 mm		Diámetro de 20 mm		Diámetro de 16 mm	
	No. De laterales	Longitud (m)	Numero de laterales	Longitud (m)	Numero de laterales	Longitud (m)	Numero de laterales	Longitud (m)
1	19	3525	0	0	0	0	0	0
2	7	1360	0	0	0	0	0	0
3	9	1435	0	0	0	0	0	0
4	10	1675	0	0	0	0	0	0
5	5	680	0	0	0	0	0	0
6	4	445	18	2000	0	0	0	0
7	0	0	0	0	14	770	7	340
8	2	300	3	300	0	0	0	0
9	3	300	6	790	0	0	4	200
10	0	0	0	0	7	350	0	0
11	0	0	0	0	11	970	0	0
12	0	0	10	930	0	0	0	0
13	0	0	17	1575	0	0	0	0
14	0	0	0	0	15	920	0	0
15	0	0	0	0	16	1120	0	0
16	0	0	0	0	0	0	11	195
17	0	0	0	0	17	1160	0	0
18	0	0	12	1200	16	880	18	700
19	0	0	0	0	0	0	4	85
20	0	0	0	0	0	0	4	80
21	0	0	12	870	15	900	0	0
22	21	2800	7	940	0	0	0	0
23	10	1550	2	300	3	300	3	200
24	0	0	10	700	10	640	0	0
25	17	2925	0	0	0	0	0	0
26	10	1420	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	13	840	0	0
28	0	0	10	1040	0	0	0	0
29	0	0	0	0	10	530	0	0
30	0	0	2	170	9	500	0	0
31	5	700	15	1380	0	0	0	0
32	2	245	18	1050	0	0	0	0
Total	124	19360	142	13245	156	9880	51	1800

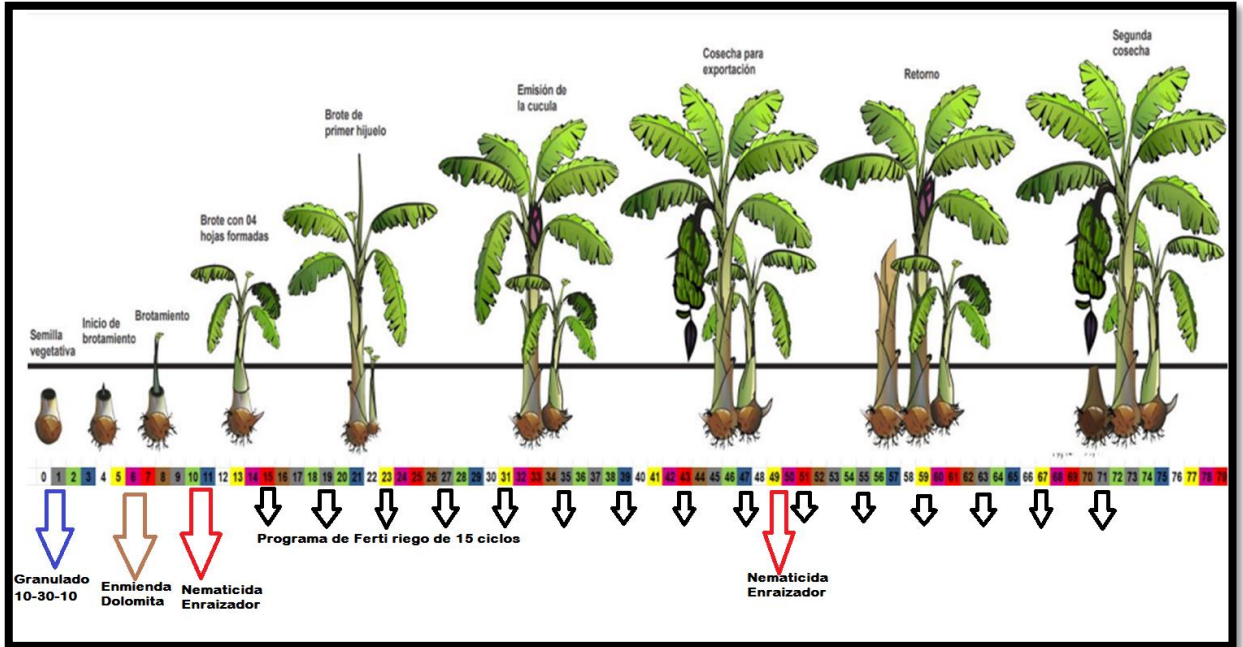
Anexo 16. Tamaño y número de válvulas por lote

LOTE	Tamaño de válvula		
	Valvulas 2"	Valvulas 1 1/2"	Valvulas 1"
1	4	0	0
2	2	0	0
3	2	0	0
4	2	0	0
5	1	0	0
6	3	0	0
7	1	0	0
8	0	1	0
9	0	2	0
10	0	0	1
11	0	1	0
12	0	1	0
13	2	0	0
14	1	0	0
15	0	2	0
16	0	0	1
17	0	2	0
18	3	0	0
19	0	0	1
20	0	0	0
21	2	0	0
22	4	0	0
23	3	0	0
24	0	2	0
25	3	0	0
26	0	2	0
27	1	0	0
28	0	0	2
29	0	0	1
30	0	1	0
31	2	0	0
32	0	2	0
Total	36	16	6

Anexo 17. Longitudes en metros por diámetro por lote de los múltiples

LOTE	Longitud de multiples		
	Diametro 50 mm	Diametro 32 Diametro 25mm	Diametro 25 mm
1	120	0	0
2	40	0	0
3	50	0	0
4	50	0	0
5	25	0	0
6	115	0	0
7	105	0	0
8	25	0	0
9	35	115	0
10	0	40	0
11	60	0	0
12	55	0	0
13	85	0	0
14	80	0	0
15	85	0	0
16	0	0	60
17	90	0	0
18	130	0	0
19	0	0	85
20	0	0	0
21	140	0	0
22	150	0	0
23	95	0	0
24	105	0	0
25	90	0	0
26	50	0	0
27	65	0	0
28	0	50	0
29	0	55	0
30	60	0	0
31	100	0	0
32	105	0	0
Total	2110	260	145

Anexo 18. Esquema de aplicaciones de fertirriego en el cultivo de plátano



Anexo 19. Esquema de aplicaciones de fertirriego en el cultivo de papaya

