"Diseño e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión para 50 Ha. de Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas"

M. Espinosa L.(1),
Ingeniero Mecánico, Escuela SuperiorPolitécnica del Litoral, 1977. (1)
Maestría en Ingeniería Agrícola EEUU, Universidad Missouri-Columbia, 1981. (1)
Diplomado en Riego y Drenaje, Universidad Utah, 1994. (1)
Maestría en Administración de Empresas, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 1995. (1)
Diplomado en Control de Calidad, Universidad Católica de Honduras, 1996. (1)
Profesor de la FIMCP – ESPOL desde 1977. (1)
mespino@espol.edu.ec

C. Cárdenas M.(2), R. Vera D.(3),
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (2)(3)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) (2)(3)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral(2)(3)
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador(2)(3)
carmairi@gmail.com, (2), roche.mona@yahoo.com(3)

Resumen

La presente Tesis desarrolla el diseño, cálculo, instalación y puesta en servicio de un sistema de riego por aspersión para 50 Ha. de cultivo de Palma Aceitera (Eleais guineensis). La plantación se encuentra ubicada en la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, parroquia Gómez Rendón, sector Cerecita. Para la realización de los trabajos que aquí se exponen se acudió a bibliografía científica disponible relativa a los factores que intervienen en el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo; clima, tipo de planta y de suelo, y agua disponible. Para el diseño agronómico, se calcularon la evapotranspiración máxima del cultivo, dosis e intervalos de riego. Los diseños hidráulico y gráfico determinaron los sectores y bloques de riego, dimensionamiento de tubería, válvulas, accesorios y características del grupo de bombeo. De la misma manera, para el cálculo y selección de la tubería y del equipo de bombeo a utilizar se tuvieron en cuenta los diferentes parámetros hidráulicos determinantes de los resultados y, en definitiva, de la calidad de la instalación proyectada y realizada. La red principal se ha diseñado en circuito cerrado utilizando el método de Hardy Cross. Finalmente, se calcularon los costos del proyecto, incluidos materiales, instalación, puesta en marcha, mantenimiento y operación de las instalaciones.

Palabras Claves: *Palma Aceitera, necesidades hídricas, sistema de riego por aspersión.*

Abstract

This thesis development the design, calculation, installation and service implementation for sprinkler irrigation system in a 50 hectares oil palm crop (Eleais guineensis). The cultivation is located in Cerecita commune of Gomez Rendon parish in the Guayas province. For the working execution exposed here, was necessary review the scientific literature for the factor involved with the crop, like water requirements, climate, plant variety and soil kind. The agronomic design was done calculating the maximum crop evapotranspiration, irrigation requirements and its duration. Hydraulic and graphic design determined the irrigation sector and blocks, pipe sizing, valves, and features of the pumping unit. In the same way for the pipe and pump calculation and before the selection was necessary to take into accounting the different hydraulic parameter that determined the result and the definitive quality of the designed and build system. Finally, is calculated the project costs including materials, installation, implementation, maintenance and facilities operation.

Keywords: *Palm Oil, like water requirements, sprinkler irrigation system.*

1. Introducción

El calentamiento global está provocando entre otros factores la disminución de la masa de hielo de los glaciares lo que repercutiría en la escasez del agua como recurso vital para la supervivencia de los seres vivos.

Según el Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo provistas por la FAO, se observa que aproximadamente el 70% del agua disponible se utiliza para el riego, y que las extracciones de agua utilizadas para riego se estiman en unos 2.000 a 2.555 km^3/año.

Considerando estas cifras, se hace entonces imprescindible hacer un uso eficiente del agua mediante riegos tecnificados no solamente para disminuir los costos de producción y aumentar las ganancias, sino también por los intereses generales que esto implica.

En nuestro país, la siembra de Palma Africana cobra fuerza, según censo realizado por ANCUPA existe 240 mil hectáreas cultivadas; un crecimiento alto comparado con las 50 Ha. que se sembraron inicialmente en los años 60.

El objetivo de esta tesis es satisfacer las necesidades hídricas de 50 Ha. de Palma Africana, ubicadas en la provincia del Guayas sector Cerecita vía Safando, donde las precipitaciones mensuales no abastecen los requerimientos del cultivo. Para cumplir con este objetivo se diseñó e instaló un sistema de riego por aspersión utilizando como fuente de agua el canal de CEDEGE.

2. Diseño Agronómico.

2.1. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETo).

Para realizar el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizó la ecuación de Penman modificado:

ETo = c ((W*Rn + (1-W)*F(u)*(ea-ed))

En la tabla 1 se tiene los resultados de Eto para cada mes del año.

Tabla 1. Valores de la evapotranspiración potencial.

Mes	Eto
Ene	3.977
Feb	3.194
Mar	3.691
Abr	3.668
May	**4.316**
Jun	3.070
Jul	2.642
Ago	3.161
Sep	4.204
Oct	3.455
Nov	3.927
Dic	3.296

Para efectos de diseño se escoge la evapotranspiración máxima que corresponde a Mayo, con un valor de Eto= 4.32 mm/día.

2.2. Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo.

El coeficiente del cultivo Kc utilizado es de 1 correspondiente a la etapa de máximo desarrollo y producción. La evapotranspiración del cultivo de Palma Africana es:

ETc = ETo*Kc

ETc= 4.32mm/día * 1

ETc = 4.32 mm/día = 0.00432 m/día.

2.3. Cálculo de la Dosis de riego.

Para el cálculo de la dosis de riego se utilizó la ecuación siguiente:

$$DR = y(CC - PMP)Da * \Pr * 10 / Ef$$

La hacienda tiene tres tipos de suelos; por lo tanto se obtuvieron tres dosis de riego, las mismas que es muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. Dosis de riego (DR) de acuerdo al tipo de suelo.

Tipo de suelo		*y*	*CC (%)*	*PMP (%)*	*Da*	*Pr*	*Ef*	*DR (mm)*
Suelo 1	*Ar*	*0.2*	*35*	*17*	*1.25*	*0.5*	*0.9*	*25.00*
Suelo 2	*Far*	*0.2*	*27*	*13*	*1.35*	*0.5*	*0.9*	*21.00*
Suelo 3	*FArA*	*0.2*	*14*	*6*	*1.50*	*0.5*	*0.9*	*13.33*

2.4. Cálculo del Intervalo de tiempo de riego.

El intervalo del tiempo de riego se lo calculó con la ecuación:

$$Ir = DR / ETc\ .$$

En la tabla 3 se muestran los intervalos de riego para los tres tipos de suelos de la hacienda.

Tabla 3. Intervalos de riego (IR) de acuerdo al tipo de suelo.

Tipo de suelo		*DR (mm)*	Etc (mm/día)	Ir (días)
Suelo 1	*Ar*	25.00	4.32	5.79
Suelo 2	*Far*	21.00	4.32	4.86
Suelo 3	*FArA*	13.33	4.32	3.08

Observando la tabla 3, se aprecia que el riego debe programarse para un intervalo máximo de 3 días en el suelo FArA, 4 días en el suelo Far y 5 días en el suelo Ar.

3. Diseño Hidráulico y Gráfico

3.1. Elección del aspersor a utilizar.

Para la etapa inicial del cultivo y en función del sistema radicular que hasta esta etapa no ha alcanzado su total desarrollo se seleccionó el aspersor TRIAD.

Este aspersor está diseñado con tres boquillas para direccionar cada chorro a una planta

La distribución del aspersor en el terreno fue determinada en base a los distanciamientos de siembra y considerando un aspersor para 3 plantas, quedando una distancia entre aspersores de 12.75m y una distancia entre líneas de aspersores de 14.72m, para regar dos líneas de cultivo con una línea de aspersores. La figura 1 muestra la distribución de los aspersores en el cultivo de Palma Africana sembrada con distanciamientos de 8.5 m entre planta y 7.36 m entre línea.

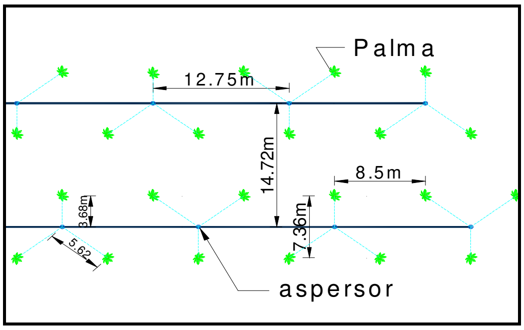

Figura 1. Distribución de aspersores en el cultivo.

Cuando la planta alcance una mayor zona radicular se cambiará el aspersor TRIAD por otro aspersor que cubra toda el área de riego.

Debido a que ya se tiene una distancia entre aspersores determinada por las distribución de las plantas, al cambiar el aspersor se consideró un aspersor que tenga un diámetro mojado que cumpla con traslape del 60% en forma triangular (según Heerman y Kohi).

Para calcular el diámetro mojado del nuevo aspersor se utiliza el espaciamiento de 12.75m que se tiene entre los aspersores TRIAD y el 60% de traslape:

Diámetro del aspersor= 12.75m/0.60

Diámetro del aspersor= 21.25m

Otro factor que se debe considerar es la velocidad del viento en el sector (alcanza valores de hasta 4m/sg). Se consideró un 10% adicional.

Diámetro del aspersor corregido= 23.375m.

De acuerdo a datos técnicos, se eligió el aspersor Senninger 2013, boquilla de 2.78mm, presión de 35psi, caudal de 1.99 gpm y diámetro mojado de 23.5m, que se aproxima a valores calculados en el diseño.

Grado de aplicación

Para calcular el grado de aplicación del aspersor se utiliza la ecuación:

$$GA = Qe/(SaxSl)$$

GA= 452lt/hr/(12.75m*14.72m)

GA= 2.41mm/hr

El valor calculado, cumple con la condición de ser menor que la velocidad de infiltración de los tres tipos de suelo que existen en la hacienda.

3.2 Cálculo del Caudal Requerido.

Primero se calculó el tiempo de riego que se necesita para cubrir la evapotranspiración máxima, dividiendo ETc para el GA

$$Tr = \frac{ETc}{GA}$$

$$Tr = \frac{4.32mm/día}{2.41mm/hr}$$

$$Tr = 1.79hr/día$$

Con el tiempo de riego diario y el tiempo total disponible, se calcula el número de sectores de riego.

$$N\sec t = \frac{T_D}{Tr}$$

$$N\sec t = \frac{12hr/día}{1.79hr/día}$$

$$N\sec t = 6.7$$

Se utiliza el valor de 6, es decir, se divide la hacienda en 6 sectores de riego; teniendo en cuenta que la superficie de la hacienda es de 50 hectáreas, cada sector será de 8,33 Ha regados cada uno en 1 hora 47 minutos, empleando un total de 10 horas 45 minutos para regar toda la hacienda.

Con el grado de aplicación se calcula el caudal por hectárea:

Qha= GA*10

Qha= 2.41mm/hr*10

Qha= 24.1m3/hr

Finalmente, el caudal requerido se obtiene multiplicando el caudal por hectárea por el área del sector de riego:

$$Q_{REQUERIDO} = A_{SECTOR} * Q_{Ha}$$

$$Q_{REQUERIDO} = 8.33Ha * 24.1m^3/hrHa$$

$$Q_{REQUERIDO} = 200.83m^3/hr$$

Este valor es referencial y está basado en las horas de riego disponibles, el caudal requerido de cada sector de riego será finalmente determinado por la distribución que se obtenga en los bloques de riego.

3.3. Determinación del Bloque de Riego.

El área del sector de riego se subdividió en bloques de riego, para obtener menores caudales que permitan conseguir operaciones de riego eficientes con valores mínimos en pérdidas por fricción y por consiguiente en diámetros de tubería.

En la figura 2 se puede observar dos bloques de riego, uno con un área de 1 Ha y otro de 2 Ha. Cada bloque tiene un ancho máximo de 102 m. que significa 8 aspersores en una misma línea terciaria, en el bloque de 1 Ha. se tiene 7 líneas terciarias y en el 2 Ha 14 líneas, correspondiente a un caudal de 112 gpm y 224 gpm respectivamente.

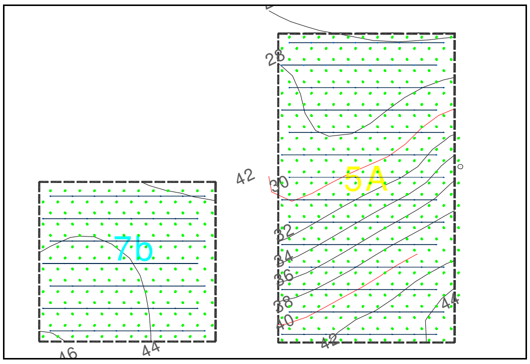

Figura 2. Bloques de riego.

3.4. Trazado del Diseño en el Plano.

En total se trazaron 31 bloques, entre 1 y 2 Ha. Luego se procedió a dibujar las líneas secundarias en dirección de la pendiente del terreno y ubicando las válvulas de control en los puntos altos.

La tubería principal se trazó uniendo las válvulas de control de forma tal que, el recorrido de la tubería no cambie abruptamente de altura.

Los bloques que pertenecen a un mismo sector, fueron elegidos de la misma unidad de manejo del suelo, puesto que cada unidad será tratada de diferente forma en su manejo agrotécnico.

3.5. Determinación de los diámetros de la línea terciaria.

Para poder determinar el diámetro en la línea terciaria se consideró el criterio de Cristianse, que indica que las pérdidas por fricción en la terciaria y secundaria deben ser menor al 20% de la presión de trabajo del aspersor. Se tomará como referencia el bloque 1A para explicar los cálculos realizados.

La variación de presión permisible del 20% en relación a la presión de trabajo del aspersor SENNINGER 2013 es:

$\Delta H = 20\% \ * \ 35PSI = 0.2 \ * \ 35PSI$

$\Delta H = 7PSI$

Entonces, se observa que las pérdidas de carga en la línea terciaria y secundaria, y considerando también el desnivel no debe ser mayor a 7PSI:

hf terciaria + hf secundaria± hdesnivel $\leq$ 7PSI

Conociendo estas limitantes se procedió a determinar el diámetro de la tubería terciaria utilizando la ecuación:

$$V = \frac{1273Q}{D^2}$$

Despejando el diámetro (D):

$$D = \sqrt{\frac{1237Q}{V}}$$

Debido a que la línea secundaria se conecta en la mitad de la línea terciaria el caudal (Q) que ingresa a la línea terciaria será el que se necesita para 4 aspersores funcionando:

$$Q = 4 \times q_a$$

$$Q = 4 \times 1.99\,gpm$$

$$Q = 7.96\,gpm = 0.50\,l/s$$

Para el cálculo del diámetro de tubería a utilizar se adopta el criterio de que la velocidad media no debe superar el valor de 1.5 m/sg, reemplazando los valores de caudal y velocidad se obtiene

$$D = \sqrt{\frac{1237 \times 0.5\,l/s}{1.5\,m/s}}$$

$$D = 20.30\,mm$$

Revisando los diámetros interiores de las mangueras de PE existentes en el mercado, se tiene que la más cercana es la de 25mm con un diámetro interno de 22.20mm.

En la figura 3 se muestra el detalle de los caudales, longitudes y cantidad de aspersores de la línea terciaria.

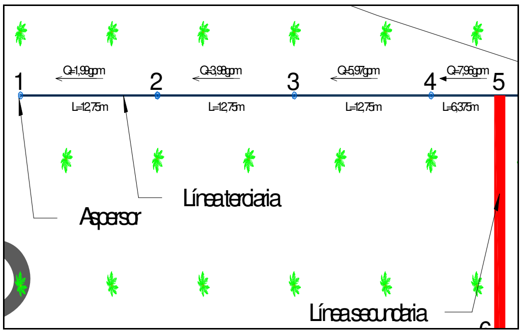

FIGURA 3. Detalle de la línea terciaria.

Para calcular las pérdidas de carga por fricción en las líneas terciarias, primero se procedió a determinar el número de Reynolds, con la finalidad de establecer que ecuación o modelo matemático se debe utilizar en el cálculo de pérdidas; en este caso el número de Reynolds es menor a 40 000, rango en el que no es aplicable la fórmula de Hazen-Williams, debido a esto se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach.

La pérdida de carga por fricción total incluidos accesorios y altura del elevador en la línea terciaria es:

hf terciaria =2.86psi $\leq$ 7psi

En base a este resultado se decidió utilizar manguera de polietileno de 25mm para todas las líneas terciarias.

3.6. Determinación de los diámetros de la línea secundaria.

La línea secundaria distribuye el agua uniformemente en un número establecido de líneas terciarias 14 líneas (bloque tipo 1A).

Se diseñaron varios diámetros para la línea secundaria, la mayor dimensión al inicio y disminuyendo el diámetro al final (tubería telescópica).

En la figura 4 se muestra el bloque 1A con la distribución de los caudales, dimensiones y diámetros de tubería secundaria; para calcular la pérdida en la línea secundaria se procedió igual que para la tubería terciaria, utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach; el caudal de diseño de la línea secundaria fue 224 gpm (de las 14 líneas terciarias donde cada línea terciaria contiene 8 aspersores):

Qterciaria=8x1.99 gpm=15.92 gpm= 16 gpm

Qbloque= 16gpmx14= 224 gpm

Qbloque= 224 gpm = 14.13 lt/sg

$$D = \sqrt{\frac{1237 Q_{bloque}}{V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{1237 * 14.13 lt/sg}{1.5 m/sg}}$$

$$D = 107.94 mm$$

El valor de este diámetro interno correspondería a una tubería de 125mm, pero si se observa la figura 4 se tiene una ganancia de presión de 18m (25.56psi) por disminución de altura, desde la válvula de control hasta el final de la tubería; para contrarrestar esta ganancia se utilizó tubería de menores diámetros.

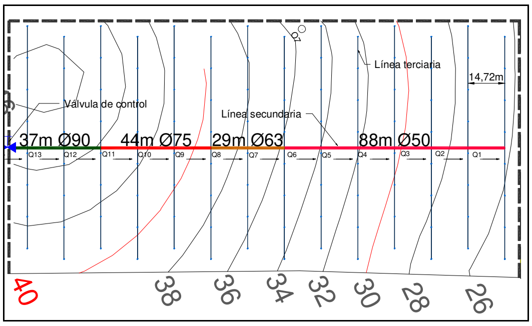

Figura 4. Detalle de la línea secundaria en el bloque 1a.

Revisando las pérdidas se observa que,

$$hf\ terciaria + hf\ secundaria \pm hdesnivel \leq 7PSI$$

$$2.86psi + 29.12psi - 25.59psi \leq 7PSI$$

$$6.39 \leq 7PSI$$

Está dentro de los límites con una pérdida de carga mínima. Para el cálculo de la secundaria en los demás bloques se procedió de la misma forma.

3.7. Determinación de los diámetros de la línea principal.

Para la tubería principal se determinó el caudal que se necesita para cada sector de riego. Este caudal se lo obtuvo de la suma de los caudales de los bloques de riego que corresponden a un mismo sector. En la tabla 4 se observa el caudal de cada sector.

Tabla 4. Caudal por sector.

CAUDAL DE SECTORES DE RIEGO(gpm)					
A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
784	832	880	880	862	900

Debido a que los sectores de riego están basados principalmente por el tipo de suelo y esto involucra abrir varias válvulas en un mismo tramo de tubería, se decidió utilizar un circuito cerrado para distribuir de mejor forma el caudal y disminuir el diámetro de tubería.

Se realizó las correcciones en el caudal con el método de Hardy Cross, reiniciando nuevamente los cálculos hasta que la suma de pérdidas totales dentro del circuito cerrado sea aproximadamente cero.

Con los caudales definitivos se obtuvo los valores de velocidades, pérdidas por fricción totales para cada sector de acuerdo a los diámetros seleccionados para cada tramo de tubería

Se observó que el sector E tiene la mayor pérdida de presión (28,03 m) y es por lo tanto el sector crítico del sistema.

3.8. Cálculo y Selección de la Estación de Bombeo.

3.8.1. Cálculo de las pérdidas por fricción totales. Se determinó que el sector E era el más crítico, el cálculo de las pérdidas totales se realizó en la válvula 19E obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5. Pérdidas por fricción totales.

	SECTOR-E (psi)
Pérdida de carga en terciaria (considerando desniveles y accesorios)	2.86
Pérdida de carga en secundaria (considerando desniveles y accesorios)	3.57
Pérdida de carga en válvula de control 19E	1.28
Pérdida de carga en principal (considerando desniveles y accesorios)	39.80
Pérdida de carga en tubería, accesorios y válvulas de de succión	0.99
TOTAL (psi)	48.50

3.8.2. Requerimiento de Caudal y Presión.

Tabla 6. Requerimiento de caudal y presión del sistema.

Altura de aspiración Hs (psi)	1.12
Altura manométrica Hd + Hf (Presión de trabajo del aspersor + pérdidas por fricción totales + desnivel)	35 + 48.50= 83.50
Altura cinética Hv	0
ALTURA MANOMÉTRICA TDH (psi)	84.62 (195.46 pies)
CAUDAL MÁXIMO (gpm)	900 (204.55m3/hr)

3.8.3. Cálculo de la Potencia de la Bomba.

Para calcular la potencia de la bomba se utilizo la siguiente ecuación, con una eficiencia del 65% para bombas centrífugas:

$$N = \frac{QxH}{3960xEp}$$

$$N = \frac{900gpmx195.46pie}{3960x0.70}$$

$$N = 63.46hp$$

3.8.4. Cálculo del NPSH disponible. Para calcular el NPSH disponible se utilizó la siguiente ecuación:

NPSHA=(Ho-Hv)-Hs-Hf

Donde,

(Ho-Hv)=10.10m.

Hs = 0.79m

Hf=0.70m

Entonces se obtiene que:

NPSHA=(10.1)-0.79-0.7

NPSHA=8.61m

3.8.5. Selección de la bomba. La selección de la bomba se la realiza en base al caudal y el TDH requerido, de las bombas centrífugas que existen en el mercado se seleccionó la bomba IHM modelo 10x40 con una succión de 5" y una descarga de 4".

Otro factor a considerar es la altura neta positiva disponible (NPSHA) que debe ser mayor o igual a la requerida por la bomba (NPSHR). De la curva técnica de la bomba se tiene que para un caudal de 862gpm y un diámetro de rotor de 425mm se obtiene una altura requerida de 3m.

$$NPSHA \geq NPSHR$$

$$8.61m \geq 3m$$

Se puede observar que cumple esta condición, por lo tanto, se selecciona esta bomba como la más adecuada para el sistema de riego.

3.8.6. Selección de la Potencia del Motor. Para calcular los requerimientos del motor se consideran los siguientes factores:

1. Pérdida de potencia por transmisión:
2. Aumento por temperatura
3. Aumento por cargas de accesorios
4. Factor de servicio

Obteniéndose un requerimiento del motor de 90hp.

3.8.7. Selección del Motor. El motor a elegir debe cumplir con el requisito de entregar una potencia mínima de 90 hp, pero como en el futuro se va a aumentar unas 25 hectáreas de riego se decidió elegir un motor de mayor potencia que cubra futuras necesidades.

Las características del motor elegido son las siguientes:

Motor de combustión interna

Marca:	Cummins
Serie:	6B
Modelo:	S0120832
Tipo:	4 ciclos, en línea, 6 cilindros
Torque máximo:	410 LB-FT a 1500 RPM
Potencia máxima:	152 HP a 2400 RPM
Capacidad:	5,88 litros

En el Apéndice O se muestra las curvas características del motor seleccionado.

4. Costos del sistema de riego.

Los costos que se consideraron en el sistema de riego fueron:

1. Costos de materiales e instalación (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Costos de materiales e instalación.

Costos	Valor Total	Valor x ha
Materiales	$89 700.00	$1 694.00
Instalación	$35 100.00	$702.00

2. Costos de funcionamiento y mantenimiento. (Ver Tabla 8).

Tabla 8. Costos de materiales e instalación.

Costo	Valor anual
Funcionamiento	$41 388.00
Mantenimiento	$10 485.00

5. Conclusiones y recomendaciones.

El sector de Cerecita presenta condiciones agroclimáticas ideales de temperatura, humedad relativa y luminosidad para el desarrollo de la Palma Africana.

La evapotranspiración máxima del cultivo es en el mes de mayo con un valor de 4.32mm/hr

La dosis de riego se calculó para cada tipo de suelo, siendo para arcilloso de 25mm, franco arcilloso 21mm y franco arcilloso arenoso 13.33mm con un intervalo máximo de riego de 5, 4 y 3 días respectivamente.

Las líneas secundarias se diseñaron con velocidades superiores a 2m/sg para contrarrestar las ganancias de presión producidas por los desniveles.

Las válvulas de control de bloque se las ubicó en lugares altos para mejorar el funcionamiento del comando hidráulico.

La tubería principal se diseñó y cálculo en circuito cerrado logrando disminuir diámetro de tubería y pérdidas por fricción en el sistema.

Para el cálculo de la presión requerida por el sistema, se utilizó el sector E, a pesar de estar relativamente cercas de la fuente de agua presentó las mayores pérdidas de cargas por diferencia de altura 24m.

. La bomba centrífuga seleccionada para el sistema de riego suministra 900 gpm y un TDH de 195 pies a 1750RPM.

El motor seleccionado fue un motor a diesel con una potencia máxima de 152 hp a 2400 RPM.

El costo por hectárea de la implementación del proyecto fue de $2 396.00 correspondiendo un 71% a materiales ($1 694.00) y un 29% a instalación ($702.00).

El valor calculado para costos de funcionamiento anual fue de $41 388.00, incluyendo en estos costos combustible, agua y personal.

BIBLIOGRAFÍA

[1] AMANCO, Manual Técnico Tubosistemas, AMANCO.

[2] BARNES KENNETH K., EDMINSTER TALCOTT W., FREVERT RICHARD K., SCHWAB GLENN O., Ingeniería de conservación de suelos y aguas, Editorial Noriega – Limusa, México 1990.

[3] BOSWELL MICHAEL J., Micro-Irrigation Desing Manual (Manual de diseño y manejo de sistemas de micro-irrigación), Editorial James Hardie Irrigation (IBERIA) S.A., Sevilla 1990.

[4] COMPO AGRICULTURA S. L., Guía de Interpretación de Análisis de Agua de Riego, COMPO 2004.

[5] CRANE, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Editorial Mc Graw-Hill, México 1998.

[6] ESPOL- CENTRO DE EDUCACIÓN CONTÍNUA, Seminario Taller en Cálculo y Diseño de Riego por Goteo, Guayaquil 2003.

[7] ESPOL-NETAFIM, Seminario Capacitación en Sistemas de Riego, Guayaquil 2009.

[8] EUROLINEA, Motobombas Multietapas EUROLINEA Manual del Usuario, Colombia.

[9] FAO, Manejo del agua de riego, Manual de campo Nº 4, Programación del riego, FAO 1990.

[10] FAO, Manejo del agua de riego, Manual de campo Nº 6, Necesidades y abastecimiento de agua de los sistemas de riego, FAO 1994.

[11] FAO, Manejo del agua de riego, Manual de campo Nº1, Introducción al riego, FAO 1987.

[12] FAO, Manejo del agua de riego; Manual de campo Nº2, Elementos de agrimensura, FAO 1987.

[13] GAETE LEONARDO, "Manual de Diseño de Sistemas de Riego Tecnificado" (Trabajo de Titulación, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Ejecución, Universidad de TALCA, 2001).

[14] HANSEN VAUGHN E, ISRAELSEN ORSON W., Principios y aplicaciones del riego, Editorial Reverté S.A., España 1985.

[15] http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023_Diseno_estaciones_bombeo/Dise%C3%B1o%20estaci%C3%B3n%20de%20bombeo.pdf.

[16] http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/985751_PDur%E1n.pdf.

[17] http://www.dspace.espol.edu.ecbitstream123456789169713275.

[18] http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm.

[19] http://www.Fluidos.eia.edu.co/hidraulica/confinado/abierta.htm.

[20] http://www.netafim.com/crop/oil-palm/best-practice.

[21] http://www.riegosariel.com.ar/riegosariel/index.php/Ultimas-Novedades/Sistemas de Riego por aspersión-Definición.html.

[22] http://www.sagan-gea-org/hojaredsuelo/paginas/15hoja.html.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Cultivo de la Palma Africana Guía Técnica, IICA, Nicaragua 2006.

[23] IPS WEL-DON, Guía para el Cementado de Tubos y Conexiones de PVC y CPVC, IPS, U.S.A.

[24] MARDAL, Recomendaciones para la Instalación de Bombas Centrífugas, MARDAL.

[25] MCNAUGHTON KENNETH J., Bombas, Selección, uso y mantenimiento, Editorial Mc Graw Hill, México 1998.

[26] PALMOSAN, “Desarrollo del Sistema de riego en un cultivo establecido de Palma Africana”, Bucaramanga 2004, 6 a 34.

[27] RAYGADA RUPERTO, Manual Técnico para el cultivo de la Palma Aceitera, DEVIDA-PRODATU, Perú 2005.

[28] RUIZ CHRISTIAN, “Diseño de un sistema de riego móvil por goteo” (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001).

[29] UNATSABAR/ OPS/CEPIS, Guías para la construcción de Estaciones de Bombeo de Agua Potable, UNATSABAR/ OPS/CEPIS, Lima 2005.

[30] URALITA, Prontuario Instalación de tuberías para abastecimiento, riego y saneamiento según normativa vigente, URALITA Madrid 2005.