

Diseño de un sistema de riego por goteo para maíz y soya en Zamorano, Honduras

Abdi Eslí Gonzales Rivera

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

ZAMORANO
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Diseño de un sistema de riego por goteo para maíz y soya en Zamorano, Honduras

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

Presentado por:

Abdi Eslí Gonzales Rivera

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

Diseño de un sistema de riego por goteo para maíz y soya en Zamorano, Honduras

Presentado por:

Abdi Eslí Gonzales Rivera

Aprobado:

Francisco Álvarez, M.A.E.
Asesor Principal

Raúl Zelaya, Ph. D.
Decano Académico

Amílcar Vargas Ing. Agr.
Asesor

Roberto Cuevas, Ph. D.
Rector

Abel Gernat, Ph. D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

RESUMEN

Gonzales Rivera, A.E. 2012. Diseño de un sistema de riego por goteo para maíz y soya en el Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 41 p.

El objetivo fue diseñar un sistema de riego por goteo para la Unidad de Granos y Semillas de la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. El área total es de 87.3 hectáreas (San Nicolás 52.6 ha, El Espinal 22.4 ha y Masicarán 12.3 ha). En San Nicolás predomina en un 90% la textura franca; en El Espinal y Masicarán predomina en un 60 y 85%, respectivamente, la textura con arcilla pesada. La fuente de agua es el río Yeguaré. El sistema de riego está diseñado para regar maíz sembrado a 0.80 metros entre hilera y 8 plantas/metro lineal; y soya sembrada a 0.80 metros entre hilera y 12 plantas/metro lineal. La evapotranspiración más alta es el primero de abril con 5.24 mm/día. El terreno a regar se dividió en dos lotes, de acuerdo a la textura predominante. El lote uno (San Nicolás) tiene una infiltración básica (IB) de 12.91 mm/hora y el lote dos (El Espinal y Masicarán) tienen una IB de 5.93 mm/hora. En el diseño se utilizaron dos cintas de goteo con cinco emisores por metro lineal con un caudal del emisor en la cinta uno de 1.1 L/h (lote uno) y un caudal por emisor en la cinta dos de 0.7 L/h (lote dos). El intervalo de riego del área total es de cuatro días. El caudal requerido es de 186.08 m³/h para el lote uno y 131.64 m³/h para el lote dos. El sistema de riego tiene un costo total de US \$ 7,517.07/ha. Se calculó el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para determinar la factibilidad del proyecto. Para el maíz se estimó una producción de 9.09 toneladas/hectárea/dos cosechas anuales y para la soya una producción de 2.27 toneladas/hectárea/una cosecha anual. El precio por tonelada de semilla de maíz es de US \$ 1,112.35, y US \$ 2,224.42 por tonelada de semilla de soya. Para el maíz el VAN es de US \$ 16,404.12 con una TIR de 42%. Para la soya el VAN es de US \$ 8,357.20 con una TIR de 42%. Bajo estas condiciones es económicamente factible la implementación del sistema de riego.

Palabras clave: Caudal requerido, ciclo de riego, evapotranspiración del cultivo (ETc), infiltración básica (IB), porcentaje de área bajo riego (PAR).

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
5. CONCLUSIONES.....	26
6. RECOMENDACIONES.....	27
7. LITERATURA CITADA.....	28
8. ANEXOS.....	29

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros

1	Características físicas del suelo.....	3
2	Capacidad de campo y punto de marchitez permanente de acuerdo a la textura...	3
3	Tipo de filtrado a usar de acuerdo a la concentración de sólidos totales en suspensión en el agua.....	11
4	Área e infiltración básica de San Nicolás, El Espinal y Masicarán.....	14
5	Datos de curvas de retención de humedad del suelo.....	15
6	Altitudes del terreno de San Nicolás, El Espinal y Masicarán.....	15
7	Rotación de los cultivos de maíz y soya en San Nicolás, El Espinal y Masicarán.....	16
8	Promedio diario mensual de evapotranspiración de referencia del 2005 al 2012.....	16
9	Coeficiente del cultivo (Kc) de maíz y soya.....	16
10	Evapotranspiración del maíz sembrado el 28 de diciembre.....	17
11	Evapotranspiración de soya sembrada el 15 de mayo.....	17
12	Evapotranspiración de maíz sembrado el 18 de agosto.....	18
13	Necesidades de riego.....	19
14	Carga dinámica total del sistema de riego.....	20
15	Descripción de las válvulas totales del terreno.....	21
16	Válvulas a regar por turno.....	23
17	Cálculo del presupuesto de la implementación del sistema de riego.....	24

Figuras

1	Influencia de la textura en la capacidad hídrica del suelo.....	2
2	Área en estudio.....	4
3	Forma de colocar los cilindros infiltrométros para determinar IB del suelo.....	5
4	Área total en hectáreas.....	13

Anexos

1	Resultado de análisis de curvas de retención de humedad de las muestras de suelo.....	29
2	Datos promedio diario semanal (mm/día) del 2005 al 2012 de la estación climatológica de la unidad de Maquinaria y Riego, EAP.....	30
3	Hoja de campo para toma de lecturas de tiempo de Infiltración.....	31
4	Mapa textural de San Nicolás.....	32
5	Mapa textural de El Espinal.....	32
6	Mapa textural de Masicarán.....	33
7	Curvas a Nivel de San Nicolás.....	33
8	Curvas a nivel de El Espinal.....	34
9	Curvas a nivel de Masicarán.....	34
10	Cotización de materiales a utilizar en el sistema de riego diseñado.....	34
11	Mapa de válvulas de San Nicolás.....	37
12	Mapa de válvulas de El Espinal.....	37
13	Mapa de válvulas de Masicarán.....	38
14	Costos totales para producir una hectárea de maíz.....	39
15	Costos totales para producir una hectárea de soya	40
16	Análisis financiero para el cultivo de maíz.....	41
17	Análisis financiero para el cultivo de soya.....	41

1. INTRODUCCIÓN

El riego consiste en suministrar a la planta el agua necesaria para que realice sus procesos biológicos; el agua tiene que proporcionarse de forma adecuada en el momento oportuno para que la planta la aproveche de la mejor manera. Para determinar el requerimiento hídrico es necesario conocer las características generales del cultivo, el tipo de suelo y los factores climáticos de la zona.

Según la FAO (2011) durante las décadas recientes la agricultura bajo riego ha sido una fuente de producción de alimentos muy importante. Los rendimientos de los cultivos en regadío son más del doble que los mayores rendimientos que pueden obtenerse en secano. Incluso la agricultura bajo riego con bajos insumos es más productiva que la agricultura de secano con altos insumos. El control, con bastante precisión, de la absorción del agua por las raíces de las plantas permite obtener estos rendimientos.

Según la FAO (2011) en la actualidad los sistemas de riego que más se utilizan son: riego por aspersión, riego por microaspersión, riego por goteo; siendo este último un sistema de riego localizado por lo cual se da un mayor ahorro de agua. Aunque en el riego por goteo la tecnología es simple requiere cierta inversión y un mantenimiento cuidadoso, ya que los goteros pueden obstruirse fácilmente. Sin embargo, los resultados obtenidos en muchos países muestran que los agricultores que cambian de riego por surcos o riego por aspersión a riego por goteo pueden reducir el consumo de agua del 30 al 60 por ciento. Frecuentemente, los rendimientos de los cultivos se incrementan también, porque las plantas reciben prácticamente la cantidad precisa de agua que necesitan y también a menudo la de fertilizantes inyectados a través del sistema de riego.

A partir del 2014 el área de San Nicolás, El Espinal y Masicarán será dedicada a la producción de maíz y soya de forma escalonada durante todo el año. En total, el área cultivable es de 87.4 hectáreas. Actualmente el área esta cultiva con caña que pertenece a la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV). El cultivo cuenta con un sistema de riego por goteo subterráneo. La fuente de agua de este sistema de riego es el río Yeguaré. Los objetivos del estudio son:

- Diseñar un sistema de riego por goteo que proporcione los requerimientos hídricos necesarios para un óptimo desarrollo del maíz y la soya.
- Determinar mediante el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) si la implementación del sistema de riego es factible.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del sistema de riego por goteo. “El riego por goteo se adapta a cualquier suelo y topografía, y a la mayoría de cultivos. El cuidado mas grande que se debe tener en un sistema de riego por goteo es el taponamiento de los emisores, para lo cual se deben tener cuidado en la escogencia de un sistema de filtración adecuado. Normalmente estamos hablando de salidas que van desde 0.5 a 1.5 milímetros. Cuando nuestra agua contiene material orgánico y arenas gruesas, el filtro de grava es el más indicado, pudiendo limpiarse por retrolavado, ahora bien si debe ser como sistema primario de filtrado y filtrado de anillo como sistema secundario. Si el caso es que la cantidad de arena es bastante en la fuente, entonces hay que instalar un hidrociclón antes del filtro de grava” (Palma 2008).

Influencia de la textura en la capacidad hídrica del suelo. Garcia, J.R., F. Sosa y J. Fernández (2009) indican que cuando la succión es baja (0-1 atm) es decir que el agua no esta muy fuertemente retenida, el contenido hídrico depende fundamentalmente del estado estructural que tenga el suelo. A medida que el suelo se va secando, la succión comienza a aumentar, y el contenido hídrico depende más de la textura del suelo a través de la superficie específica. La presencia de arcillas provoca grandes variaciones en el trazado de la curva. El valor de contenido hídrico para una misma succión es mayor en suelos de textura fina que en suelos de textura gruesa (Figura 1).

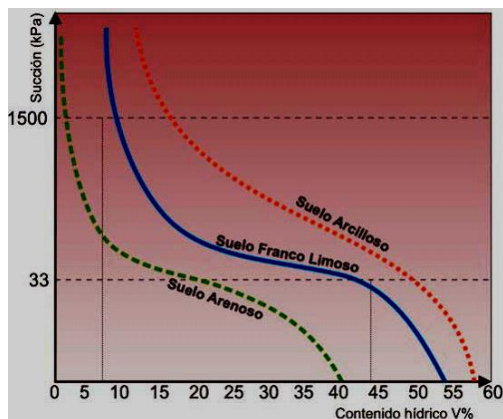


Figura 1. Influencia de la textura en la capacidad hídrica del suelo.
Fuente: Garcia, J.R., F. Sosa y J. Fernández (2009).

Infiltración básica del suelo. “Es el tiempo que le toma al agua recorrer las capas del suelo por sus poros. Existen muchos factores que afectan esta velocidad: textura, estructura, cantidad de agua, humedad del suelo, temperatura del agua, temperatura del suelo, entre otros factores” (Palma 2008). El Cuadro 1 resume las características físicas del suelo, y son valores que se pueden usar si no se saben los valores exactos de los mismos.

Cuadro 1. Características físicas del suelo.

Textura	Densidad aparente (gramos/cm ³)	Infiltración básica (cm/h)	Espacio poroso (%)
Arenoso	1.55 - 1.80	2.50 - 5.50	32 - 42
Franco-Arenoso	1.40 - 1.60	1.30 - 7.60	40 - 47
Franco	1.30 - 1.50	0.80 - 2.00	43 - 49
Franco-Arcilloso	1.30 - 1.40	0.25 - 1.50	47 - 51
Arcillo-Arenoso	1.25 - 1.35	0.03 - 0.50	49 - 53
Arcilloso	1.20 - 1.30	0.01 - 0.10	51 - 55

Fuente: Israelsen, O.W., Hansen V.E. (1979), adaptado por el autor.

En el Cuadro 2 se muestran los diferentes porcentajes de humedad del suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente de acuerdo a las diferentes texturas.

Cuadro 2. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente de acuerdo a la textura.

Textura	Capacidad de campo (%)	PMP (%)
Arenoso	6-12	2-6
Franco arenoso	10-18	4-8
Franco	18-26	8-12
Franco Arcilloso	23-31	11-15
Arcillo arenoso	27-35	13-17
Arcilloso	31-39	15-19

Fuente: Israelsen, O.W., Hansen V.E. (1979), adaptado por el autor.

Maíz con riego por goteo. “El riego moderno puede aumentar la productividad del cultivo de maíz, obteniéndose como resultado un mayor rendimiento y una menor utilización de agua y fertilizantes. Esto se debe a que cuando se cultiva en forma intensiva, el maíz resulta muy sensible a cualquier déficit de agua que se produzca durante su etapa de crecimiento, si hay déficit de agua durante la floración el rendimiento del maíz se ve todavía más perjudicado y bajo condiciones climáticas variables, los rendimientos altos y estables se alcanza únicamente por medio de un riego eficiente. Con sistemas de riego por goteo se alcanzan mayores rendimientos (10-20%) principalmente debido a la uniformidad y a la fertilización eficiente” (NaanDanjain Irrigation 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. Áreas de cultivos extensivos San Nicolás, El Espinal y Masicarán de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras (Figura 2).

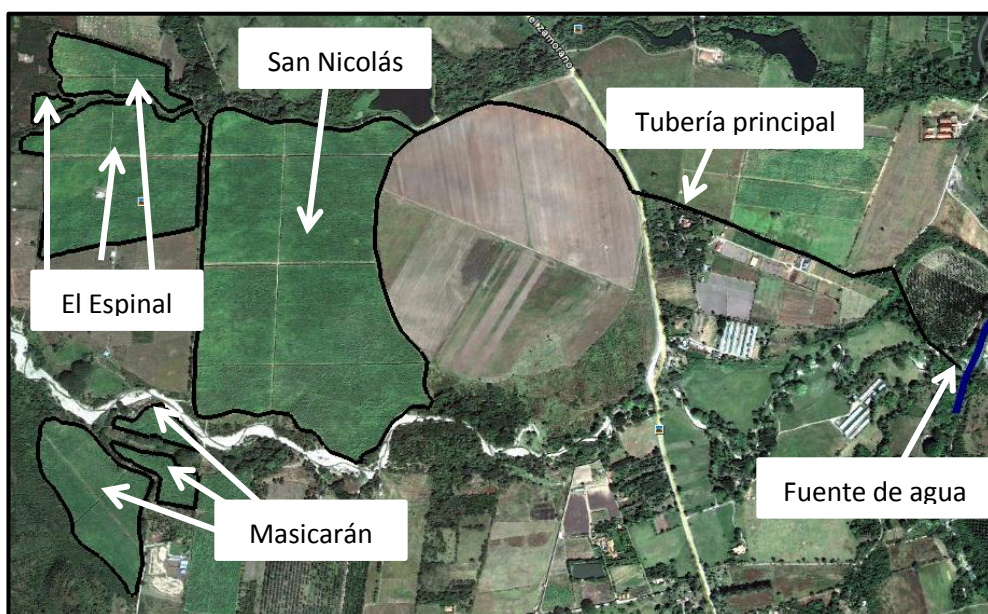


Figura 2. Área en estudio.

Fuente de Agua. Se tomaron los datos de caudal del estudio realizado en el río Yeguaré por Cruz Orellana (2008).

Área. Se midió con un GPS “eTrex®” portátil de 12 canales. Las coordenadas proporcionadas por el GPS se utilizaron en el programa de computación “ArcView” GIS 3.3 para determinar el área y editar el mapa del terreno en estudio.

Textura. Se determinó por el método del tacto haciendo una barrenación por hectárea a 0.40 metros de profundidad. La clasificación se realizó por familias texturales donde: Familias francas (franco limoso, franco arenoso y franco), familias texturales con arcillas livianas (franco arcilloso, franco arcillo limoso) y familias texturales con arcillas pesadas (arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso).

Infiltración básica del suelo (IB). Se determinó en cada familia textural. En cada medición se colocaron tres pares de cilindros infiltrómetros formando un triángulo como se muestra en la Figura 3. Los cilindros internos se colocaron a 0.15 m de profundidad y los externos a 0.10 m. Ambos cilindros fueron llenados con agua pero las lecturas se tomaron en el cilindro interno. Las lecturas se tomaron de forma simultánea en los tres pares de cilindros con intervalos de tiempo entre que van desde dos a 60 minutos para hacer un total de 4 horas.

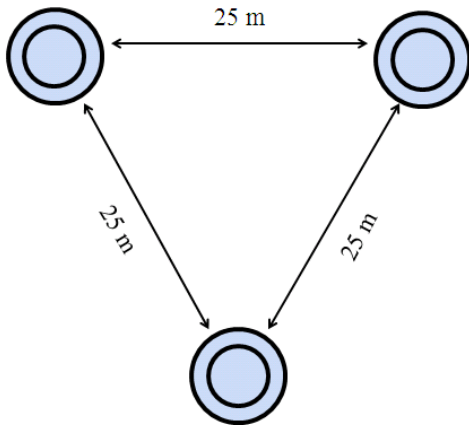


Figura 3. Forma de colocar los cilindros infiltrómetros para determinar la IB del suelo.

Curvas de retención de humedad. Se hizo una calicata por cada familia textural a 0.60 m de profundidad. Por cada horizonte se tomaron dos muestras de suelo sin disturbar y se enviaron al laboratorio de suelos del Centro de Experimentación de Desarrollo Agrícola ubicado en Comayagua, donde se determinaron las curvas de retención de humedad.

Curvas a nivel. Las altitudes se tomaron con un GPS “eTrex®” en forma de cuadrícula cada 200 m. Los datos obtenidos con el GPS fueron introducidos en el programa de computación “ArcView “GIS 3.3 donde se editaron los mapas de curvas a nivel.

Épocas de siembra y densidades. Fueron proporcionados por el jefe de la Unidad de Granos y Semillas Renán Pineda, Ph. D.

Evapotranspiración de referencia (ET_o). Se calculó el promedio diario mensual de ET_o del 2005 al 2012, con los datos obtenidos de la estación climatológica automatizada de la unidad de Maquinaria y Riego, EAP.

Requerimiento hídrico de los cultivos. Se determinó con la fórmula de evapotranspiración propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) donde:

$$ET_c \text{ (mm/día)} = ET_o \times K_c \quad [1]$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia en mm/día.

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional).

Cálculo de necesidades hídricas: Lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva del cultivo (LD_{zr}). Lámina de agua disponible a la profundidad efectiva de las raíces del cultivo. Se calculó con la fórmula:

$$LD_{zr} = AD \times 10 \times z_r \quad [2]$$

Donde:

LD_{zr} = En milímetros a profundidad radicular efectiva del cultivo (mm/zr).

AD = Agua disponible (%) del volumen.

z_r = Profundidad radicular efectiva del cultivo (m).

10= Factor que convierte los datos a mm/zr.

Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva del cultivo (LA_{zr}). Lámina de agua que el cultivo puede aprovechar sin llegar a su punto de marchitez permanente. Se calculó con la fórmula:

$$LA_{zr} = LD_{zr} \times \%AA \quad [3]$$

Donde:

LA_{zr} = En milímetros a zona radicular efectiva del cultivo (mm/zr).

$\% AA$ = Agua aprovechable.

El porcentaje de agua aprovechable se obtuvo de datos proporcionados por la FAO.

Porcentaje de área bajo riego (PAR). Porcentaje de área humedecida con respecto al área total que se encuentra bajo riego. Primero se calculó el diámetro del bulbo humedecido con la fórmula:

$$d = (q_e / 0.785 \times I_b)^{1/2} \quad [4]$$

Donde:

d = Diámetro del bulbo humedecido (m).

q_e = Caudal del emisor (L/h).

Ib= Velocidad de infiltración básica (mm/h).

Posteriormente se calculó el porcentaje de área bajo riego con la fórmula:

$$PAR = ((100 \times 0.785 \times d^2) \times (de \times dl)) \times 100 \quad [5]$$

Donde:

d= Diámetro de cobertura del emisor (m).

de= Distancia entre emisores contiguos sobre el lateral (m).

dl= Distancia entre laterales contiguos (m).

Precipitación horaria del sistema (Phr). Lámina de agua que cae en un tiempo determinado en el área bajo riego. Este dato se debe de comparar con la infiltración básica del suelo y el valor de precipitación horaria debe ser igual o menor que la infiltración básica. Se calculó con la fórmula:

$$Phr = (qe \times 100) / (de \times dl \times PAR) \quad [6]$$

Donde:

Phr = En mm/h.

qe = Caudal emisor (L/h)

de = Distancia entre emisores contiguos en el lateral (m).

dl = Distancia entre laterales contiguos (m).

PAR = % área bajo riego.

100= Factor que convierte el porcentaje a fracción decimal.

Intervalo de riego (Ir). Tiempo que transcurre sin regar un terreno entre un riego y otro. Se calculó con la fórmula:

$$Ir = (LA_{zr} \times PAR) / (ET_c \times 100) \quad [7]$$

Donde:

Ir= En días.

LA_{zr}= Lámina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva (mm/zr).

PAR= % área bajo riego.

ET_c= Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

100= Factor que convierte el porcentaje a fracción decimal.

Ciclo de riego (CR). Número de días en los cuales se riega una parcela incluyendo días de paro. Se calculó con la fórmula:

$$CR = Ir_{aj} - dp \quad [8]$$

Donde:

Ir aj= Intervalo de riego ajustado (días).

dp= Días de paro.

Lámina de riego ajustada (LR aj). Lámina de agua que se debe aplicar en cada riego al cultivo. Se calculó con la fórmula:

$$LR\ aj = (Ir\ aj \times ET_c \times 100) / PAR \quad [9]$$

Donde:

Ir aj = Intervalo de riego ajustado (días).

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

PAR= Porcentaje del área bajo riego (%).

100= Factor que convierte el porcentaje a fracción decimal.

Porcentaje de agua aprovechada, ajustada (PA aj). Porcentaje de agua que en realidad va a ser aprovechada por el cultivo. Se calculó con la fórmula:

$$PA\ aj = (LR\ aj \times 100) / LD\ zr \quad [10]$$

Donde:

LR aj= Lámina de riego ajustada (mm).

LD zr= Lámina de agua disponible en milímetros a la profundidad radicular efectiva del cultivo.

100= Factor que convierte el porcentaje a fracción decimal.

Lámina bruta (LB). Es la lámina de agua que se debe aplicar en cada riego tomando en cuenta la eficiencia del sistema de riego. La eficiencia del sistema de riego se determinó a través de la literatura citada. Se calculó con la fórmula:

$$LB = (LR\ aj \times 100) / \text{Eficiencia del sistema} \quad [11]$$

Donde:

LB = En mm.

LR aj = Lámina de riego ajustada (mm).

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

100= Factor que convierte el porcentaje a fracción decimal.

Dosis de riego bruto (DB). Se calculó con la fórmula:

$$DB = (LB \times PAR) / 10 \quad [12]$$

Donde:

DB = En m^3/ha .

LB = Lámina bruta (mm).

PAR = Porcentaje de área bajo riego.

10= Factor que convierte la lámina de milímetros a m^3/ha .

Horas de riego por turno (Ht). Es el tiempo que tarda el sistema de riego regando para lograr llevar el suelo a capacidad de campo. Se calculó con la fórmula:

$$Ht = LB / Phr \quad [13]$$

Donde:

LB = Lámina bruta (mm).

Phr = Precipitación horaria del sistema (mm/h).

Máximo número de turnos de riego diario (Td). Número de turnos de riegos que se pueden hacer en un día. Se calculó con la fórmula:

$$Td = Hm / Ht \quad [14]$$

Donde:

Hm = Horas de riego máximas al día (h), establecidas tomando en cuenta las horas que se desea trabajar el sistema de riego.

Ht = Horas de riego por turno.

Horas de riego diario (Hd). Total de horas que se riega durante un día. Se calculó con la fórmula:

$$Hd = Td \times Ht \quad [15]$$

Donde:

Td = Turnos por día.

Ht = Horas de riego por turno.

Horas de riego por ciclo (Hc). Total de horas que se riega durante un ciclo de riego. Se calculó con la fórmula:

$$Hc = CR \times Hd \quad [16]$$

Donde:

CR= Ciclo de riego (días).

Hd= Horas de riego en días.

Número de turnos por ciclo (Tc). Total de turnos de riego que se hacen durante un ciclo de riego. Se calculó con la fórmula:

$$Tc = CR \times Td \quad [17]$$

Donde:

CR= Ciclo de riego (días).

Td= Turnos por día.

Superficie de riego por turno (St). Área, en hectáreas que se riega por cada turno de riego. Se calculó con la fórmula:

$$St = Sr / Tc \quad [19]$$

Donde:

Sr= Superficie total (ha).

Tc= Turnos de riego por ciclo.

Volumen de riego bruto por turno (Vbt). Volumen de agua en metros cúbicos que se utiliza para regar el área de un turno. Se calculó con la fórmula:

$$Vbt = St \times DB \quad [20]$$

Donde:

St = Superficie por turno (ha).

DB = Dosis bruta (m³/ha).

Caudal requerido (Qr). Cantidad de agua requerida para que el sistema de riego funcione adecuadamente. Se calculó con la fórmula:

$$Qr = Vbt / Ht \quad [21]$$

Donde:

Qr = En m³/h.

Vbt = Volumen de riego por turno (m³/turno).

Ht = Horas de riego por turno.

Carga dinámica total (CDT). Sumatoria de la altura estática de succión, altura dinámica de succión, altura estática de descarga, altura dinámica de descarga y presión de operación. La pérdida por fricción en la tubería se calculó con la fórmula de Hazen y Williams donde:

$$Hf = 0.090194 (100/C)^{1.852} \times Q^{1.852} / d^{4.866}$$

Donde:

H_f = pérdida de presión, en lb/pulg² por cada 100 pies de tubería.

C = coeficiente de rugosidad de la tubería.

Q = caudal, en galones por minuto

d = diámetro interno de la tubería, en pulgadas.

Sistema de filtrado. Se diseñó con base en la concentración (en partes por millón) de sólidos totales en suspensión en el agua como se muestra en el Cuadro 3. El número de filtros que se utilizó se determinó de acuerdo a la capacidad de caudal del filtro, el caudal total del sistema de riego fue dividido entre el caudal por filtro. El caudal de operación de un filtro está determinado en el catálogo del fabricante.

Cuadro 3. Tipo de filtrado a usar de acuerdo a la concentración de sólidos totales en suspensión en el agua.

Sólidos totales en suspensión (ppm)	Tipo de filtros a usar
>300	Decantar
200-300	Arena
100-200	Anillas
<100	Malla

Fuente: Del Campo Soluciones Agrícolas, adaptado por el autor.

Tubería principal y secundaria. Se colocaron diferentes diámetros de tubería de acuerdo a la velocidad del agua en la tubería que debe ser igual o menor a dos metros/segundo. El diámetro matemático de la tubería se calculó con la fórmula:

$$\emptyset = Q^{1/2}$$

Donde:

$\emptyset$ = Diámetro (pulgadas).

Q = Caudal (Litros/segundo).

$1/2$ = Factor que convierte el resultado en pulgadas.

Sistema de bombeo. La bomba tiene que satisfacer la demanda de presión y caudal en los puntos más críticos del sistema de riego. La potencia teórica de la bomba se calculó con la fórmula:

$$P = (Q \times CDT) / (76 \times \eta)$$

Donde:

P = Potencia teórica de la bomba en caballos de fuerza.

Q = Caudal requerido (Litros/segundo).

CDT = Carga dinámica total (metros de columna de agua).

η = Eficiencia de la bomba en tanto por uno.

Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR). El análisis se hizo con una proyección de cinco años. Para el maíz se estimó una producción de 9.09 toneladas por hectárea de semilla haciendo dos cosechas anuales. Para la soya se estimó una producción de 2.27 toneladas por hectárea de semilla haciendo una cosecha anual. Para el maíz utilizó un precio de venta de US \$ 1,112.35 la tonelada, y para la soya un precio de venta de US \$ 2,224.42 la tonelada. Válido del 2014 al 2018 con un cambio de L. 19.78 por \$ US 1.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fuente de Agua. El caudal usado como referencia fue de 860 m³/h (Cruz Orellana, F.A. 2008). La fuente de agua, que es el río Yeguaré, se encuentra localizada a 1,888 metros al este del terreno a regar.

Área. El área total es de 87.3 hectáreas divididas en: 52.6 San Nicolás, 22.4 El Espinal y 12.3 Masicarán (Figura 4).

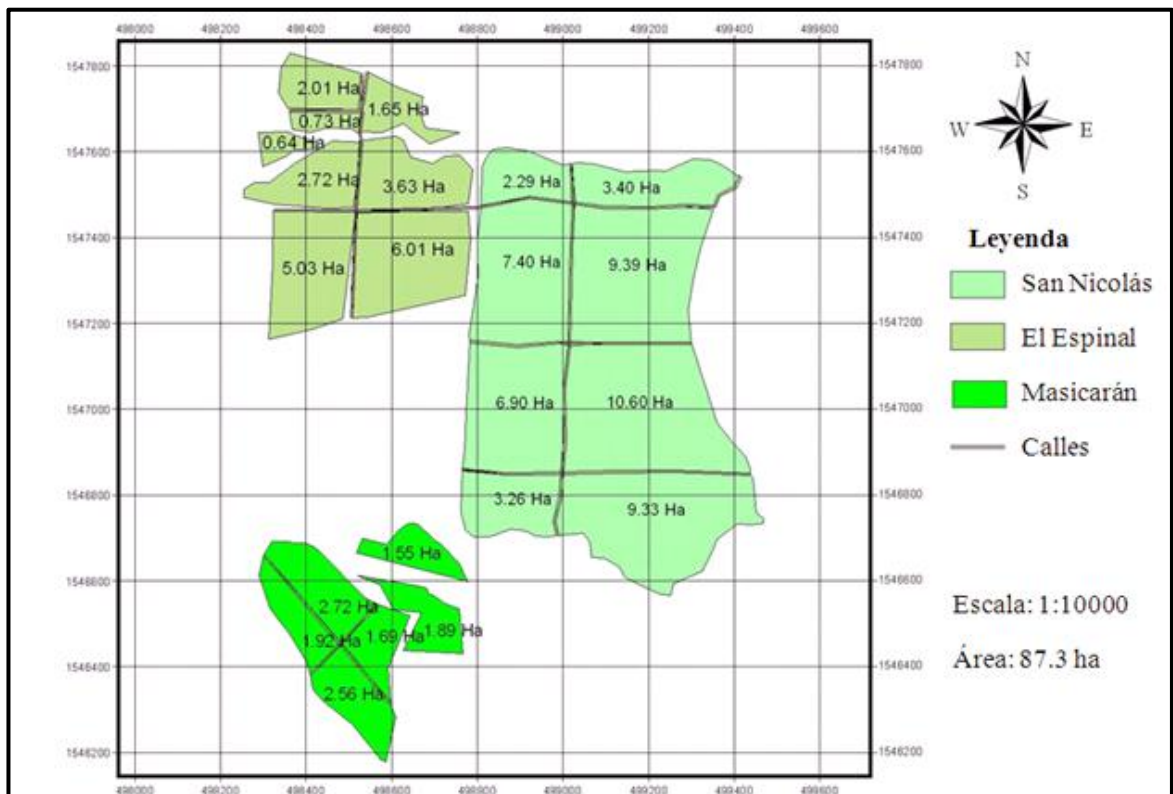


Figura 4. Área total en hectáreas.

Textura. Las familias texturales que se encontraron en el terreno en estudio son: texturas francas (franco limoso, franco arenosos y franco), texturas con arcilla liviana (franco arcilloso, franco arcillo limoso) y texturas con arcillas pesadas (arcilloso, limoso, arcillo

arenoso). En el Cuadro 4 se observa que la familia textural que predomina en San Nicolás es la textura franca. En El Espinal y Masicarán la familia textural que predomina son las arcillas pesadas.

Cuadro 4. Área e infiltración básica de San Nicolás, El Espinal y Masicarán.

Textura	San Nicolás			El Espinal			Masicarán		
	IB mm/h	%	Área ha	IB mm/h	%	Área ha	IB mm/h	%	Área ha
M	12.91	90	47.3	12.91	15	3.4	12.91	5	0.6
F-	49.35	7	3.7	49.35	25	5.6	49.35	10	1.2
F+	5.93	3	1.6	5.93	60	13.4	5.93	85	10.5

Infiltración básica del suelo. De acuerdo al Cuadro 4 donde se muestra el área de cada familia textural se decidió tomar en cuenta diferentes infiltraciones básicas para el diseño del sistema de riego. Para el área de San Nicolás donde predomina la textura franca se utilizó 12.91 mm/h. Para las áreas de El Espinal y Masicarán donde predominan las arcillas pesadas se utilizó 5.93 mm/h.

Curvas de retención de humedad. Los resultados de humedad a capacidad de campo (HCC) y humedad a punto de marchitez permanente (HPMP) del Cuadro 5 están basados en volumen. En la columna de horizontes (Cuadro 5) la letra mayúscula representa el horizonte y el número representa la muestra, ya que por cada horizonte se tomaron dos muestras. La columna de lámina de agua aprovechable a zona radicular (LA zr) en el Cuadro 5 nos muestra que los suelos con texturas francas tienen una mayor disponibilidad de agua para la planta.

Cuadro 5. Datos de curvas de retención de humedad del suelo.

Calicata	Familia textural	Horizonte	Prof. (m)	HCC Atm 0.032	HPMP Atm 15.524	A.D %	LD zr mm/zr	LA zr mm/zr
1	M	A1	0.23	26.38	16.01	10.4	23.92	15.55
		A2	0.23	25.17	15.52	9.6	22.08	14.35
		B1	0.37	24.29	16.17	8.1	29.97	19.48
		B2	0.37	22.09	15.84	6.2	22.94	14.91
2	F+	A1	0.29	34.25	22.81	11.4	33.06	21.49
		A2	0.29	35.76	24.51	11.2	32.48	21.11
		B1	0.31	33.95	30.70	3.2	9.92	6.45
		B2	0.31	33.74	25.97	7.8	24.18	15.72
3	F-	A1	0.20	21.21	12.77	8.4	16.80	10.92
		A2	0.20	22.92	14.22	8.7	17.40	11.31
		B1	0.25	27.75	19.05	8.7	21.75	14.14
		B2	0.25	26.56	19.02	7.5	18.75	12.19
		C1	0.15	18.97	12.66	6.3	9.45	6.14
		C2	0.15	17.77	12.39	5.4	8.10	5.26

Fuente: Laboratorio de suelos de la Dirección General De Riego y Drenaje (DGRD) del Centro de Experimentación de Desarrollo Agrícola ubicado en Comayagua.

Curvas a nivel. El punto más alto del terreno es de 800 msnm como se muestra en el Cuadro 6. El punto crítico esta ubicado en Masicarán a una altitud de 798 msnm, este punto no es el más alto de todo el terreno pero es el que tiene las mayores pérdidas de carga por fricción en la tubería ya que tiene la longitud más larga con respecto a la bomba ubicada en el río Yeguaré.

Cuadro 6. Altitudes del terreno de San Nicolás, El Espinal y Masicarán.

Lote	Punto más alto (msnm)	Longitud a la bomba (m)
San Nicolás	778	3160
El Espinal	800	3274
Masicarén	798	3987

Época de siembra y densidades. El área en estudio se empezara a cultivar con maíz y soya a partir del año 2014. El maíz se sembrará a una densidad de 100,000 plantas/hectárea, 0.80 metros entre surco y ocho plantas por metro lineal. La soya se sembrará a una densidad de 104,167 plantas/hectárea, 0.80 metros entre surco y 12 plantas por metro lineal.

En el Cuadro 7 se muestra la rotación de los cultivos. Las fechas de siembra tienen un rango amplio de días debido a que cualquiera de esos días es óptimo para iniciar el ciclo del cultivo.

Cuadro 7. Rotación de los cultivos de maíz y soya en San Nicolás, El Espinal y Masicarán.

Fecha de siembra	2014	2015	2016	2017	2018
10 de diciembre - 15 de enero	Maíz	Maíz	Maíz	Maíz	Maíz
25 de abril - 20 de mayo	Soya	Soya	Soya	Soya	Soya
25 de agosto – 20 de septiembre	Maíz	Maíz	Maíz	Maíz	Maíz

Fuente: Renán Pineda, Ph. D.

Evapotranspiración de referencia (ET_o). En el Cuadro 8 se muestran los datos históricos de ET_o de los últimos ocho años, de la estación climatológica de la unidad de Riego y Maquinaria, EAP. Estos datos se utilizaron para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos de maíz y soya.

Cuadro 8. Promedio diario mensual de evapotranspiración de referencia de 2005 al 2012.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ET _o mm/día	3.18	3.66	4.27	4.37	3.94	3.55	3.47	3.79	3.78	3.16	2.92	2.92

El coeficiente del cultivo se utilizó para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos de maíz y soya. En el Cuadro 9 se muestra el K_c por etapas del cultivo de maíz y soya.

Cuadro 9. Coeficiente del cultivo (K_c) de maíz y soya.

Cultivo	Etapas	Días	K _c
Maíz	1	20	0.30
	2	35	0.75
	3	40	1.20
	4	30	0.85
Soya	1	15	0.50
	2	15	0.83
	3	40	1.15
	4	15	0.83

Fuente: FAO (2012).

Requerimiento hídrico de los cultivos. En el Cuadro 10 se observa el requerimiento hídrico del maíz sembrado el 28 de diciembre. El mayor requerimiento hídrico se presenta en la etapa tres donde la ETc es de 5.24 mm/día. Durante toda la duración del ciclo del cultivo el requerimiento hídrico total es de 4197.37 m³/ha.

Cuadro 10. Evapotranspiración de maíz sembrado el 28 de diciembre.

Etapa	Fecha inicio etapa	Días por etapa	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	mm/etapa	m ³ /ha
I	28-Dic	4	2.92	0.30	0.88	3.50	35.04
	01-Ene	16	3.18	0.30	0.95	15.26	152.64
II	17-Ene	15	3.18	0.75	2.39	35.78	357.75
	01-Feb	20	3.66	0.75	2.75	54.90	549.00
III	21-Feb	8	3.66	1.20	4.39	35.14	351.36
	01-Mar	31	4.27	1.20	5.12	158.84	1588.44
	01-Abr	1	4.37	1.20	5.24	5.24	52.44
IV	02-Abr	29	4.37	0.85	3.71	107.72	1077.21
	01-May	1	3.94	0.85	3.35	3.35	33.49
Total		125					4197.37

En el Cuadro 11 se observa el requerimiento hídrico de la soya sembrado el 15 de mayo. El mayor requerimiento hídrico se presenta en la etapa tres donde la ETc es de 4.08 mm/día. Durante toda la duración del cultivo el requerimiento hídrico es de 2806.63 m³/ha.

Cuadro 11. Evapotranspiración de soya sembrada el 15 de mayo.

Etapa	Fecha inicio etapa	Días por etapa	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	mm/etapa	m ³ /ha
I	15-May	15	3.94	0.50	1.97	29.55	295.50
II	31-May	1	3.94	0.83	3.27	3.27	32.70
	01-Jun	14	3.55	0.83	2.95	41.25	412.51
III	15-Jun	15	3.55	1.15	4.08	61.24	612.38
	01-Jul	25	3.47	1.15	3.99	99.76	997.63
IV	26-Jul	6	3.47	0.83	2.88	17.28	172.81
	01-Ago	9	3.79	0.83	3.15	28.31	283.11
Total		85					2806.63

En el Cuadro 12 se observa el requerimiento hídrico del maíz sembrado el 18 de agosto. El mayor requerimiento hídrico se presenta en la etapa tres donde la ETc es de 3.79 mm/día. Durante toda la duración del cultivo el requerimiento hídrico es de 3374.42 m³/ha.

Cuadro 12. Evapotranspiración de maíz sembrado el 18 de agosto.

Etapa	Fecha inicio etapa	Días por etapa	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	mm/etapa	m ³ /ha
I	18-Ago	13	3.79	0.30	1.14	14.78	147.81
	01-Sep	7	3.78	0.30	1.13	7.94	79.38
II	08-Sep	23	3.78	0.75	2.84	65.21	652.05
	01-Oct	12	3.16	0.75	2.37	28.44	284.4
III	13-Oct	19	3.16	1.20	3.79	72.05	720.48
	01-Nov	21	2.95	1.20	3.54	74.34	743.4
IV	22-Nov	9	2.95	0.85	2.51	22.57	225.68
	01-Dic	21	2.92	0.85	2.48	52.12	521.22
Total		125					3374.42

Cálculo de necesidades hídricas. El máximo porcentaje permisible de agotamiento del agua disponible a capacidad de campo en el maíz y la soya es del 65 por ciento. Como se muestra en el Cuadro 4, el terreno a regar tiene diferentes familias texturales por lo cual se dividió el terreno en dos lotes. El lote uno esta conformado por el área de San Nicolás donde predomina en un 90% la textura franca, por lo cual los cálculos se basaron en las características de esta textura, donde la infiltración básica es de 12.91 mm/h. El lote dos esta conformado por las áreas de El Espinal y Masicarán donde predomina en un 60 y 82%, respectivamente, las arcillas pesadas, por lo cual los cálculos se basaron en las características de esta textura, donde la infiltración básica es de 5.93 mm/h. Los requerimientos hídricos se basaron en el cultivo de maíz que es el que tiene el mayor requerimiento hídrico.

En el Cuadro 13 se muestran los requerimientos hídricos del maíz del lote 1 y 2. Para el cálculo de la lámina de agua disponible en la zona radicular, se tomó el promedio de las repeticiones del porcentaje de agua disponible por cada horizonte. Para los cálculos se utilizaron los valores más altos de ETc para asegurar que el sistema de riego pueda proporcionar el agua necesaria a los cultivos en cualquier época del año.

Cuadro 13. Necesidades de riego.

Necesidades de riego	Lote 1	Lote 2
Área (ha)	52.60	34.70
Caudal del emisor (L/h)	1.10	0.51
Distanciamiento entre emisor (m)	0.20	0.20
Distanciamiento entre cinta (m)	0.80	0.80
Ventana de riego (h)	16.00	16.00
Eficiencia del sistema de riego (%)	90.00	90.00
Porcentaje de agua aprovechable (%)	65.00	65.00
Evapotranspiración (mm/día) [1]	5.24	5.24
Lamina de agua disponible a zr (mm/0.60 m) [2]	28.00	33.71
Lamina de agua aprovechable a zr (mm/0.60 m) [3]	18.20	21.91
Infiltración básica (mm/h)	12.91	5.93
Porcentaje de área bajo riego [5]	71.27	71.67
Precipitación horaria del sistema (mm/h) [6]	12.86	5.96
Intervalo de riego (días) [7]	4.00	4.00
Días de paro	2.00	2.00
Intervalo de riego ajustado (días)	2.00	2.00
Ciclo de riego (días) [8]	2.00	2.00
Lámina de riego ajustada (mm) [9]	14.70	21.93
Porcentaje de agua aprovechada ajustado [10]	52.50	65.05
Lámina bruta (mm) [11]	16.33	24.37
Dosis de riego bruta (m^3/ha) [18]	116.38	174.66
Horas de riego por turno [13]	1.27	4.09
Máximo número de turnos de riego por día [14]	13.00	4.00
Horas de riego diario [15]	16.51	16.36
Horas de riego por ciclo [16]	33.02	49.08
Número de riegos por ciclo [17]	26.00	12.00
Superficie bajo riego por turno (ha) [19]	2.02	2.89
Dosis de riego bruta por turno ($m^3/turno$) [20]	235.08	504.77
Caudal requerido (m^3/h) [21]	185.10	123.42

[] Fórmula de los materiales y método utilizada para obtener el resultado.

Carga dinámica total. La bomba tiene que ser capaz de operar a una presión mínima de 91 m.c.a para que el sistema funcione adecuadamente. En el Cuadro 14 se observan los aspectos que se tomaron en cuenta para determinar la CDT total.

Cuadro 14. Carga dinámica total del sistema de riego.

Detalle	Carga dinámica (m.c.a)
Altura dinámica	55
Filtros	7
Válvulas	7
“Manifold”	5
Presión operación	10
Extras 8% (accesorios)	7
CDT	91

Sistema de filtrado. El agua del río Yeguaré tiene concentraciones de sólidos totales en suspensión entre 200 a 300 ppm por lo cual se utilizó filtros de arena en el diseño. El número de filtros a usar se determinó de la siguiente manera:

$$Q = 35 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (velocidad de filtrado recomendada)} \times 0.71 \text{ m}^2 \text{ (área de filtrado)} = 24.85 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Número de filtros} = \frac{173.96 \text{ m}^3/\text{h}}{24.85 \text{ m}^3/\text{h}} = 7 \text{ filtros}$$

Se usaron 6 filtros de arena con un diámetro de 0.95 metros y un caudal máximo de 37.6 m³/h. Lo recomendado son 7 filtros pero como el agua de la fuente está con valores cercanos a 200 ppm podemos aumentar la velocidad de filtrado a 40.83 m³/h sin afectar el filtrado.

Descripción del sistema de riego. El sistema de riego diseñado está adaptado para sembrar maíz y soya a una sola hilera. Se utilizaron dos tipos de cintas de riego diferentes. Para el Lote 1 donde predominan las texturas francas se utilizó la cinta de goteo modelo Azud line 160 que tiene un caudal por emisor de 1.1 L/h. Para el Lote 2 donde predominan las texturas con arcilla pesada se utilizó la cinta de goteo modelo Aquatrax A5080650 que tiene un caudal por emisor de 0.74 L/h.

El diseño tiene la capacidad de satisfacer la demanda hídrica del cultivo de maíz ya que es el cultivo que más requerimiento hídrico tiene con respecto a la soya. El intervalo de riego es de cuatro días. El lote uno se regará en los primeros dos días del ciclo de riego y el lote dos en los dos últimos días. El terreno tiene un total de 87 válvulas como se muestra en el Cuadro 15. El número de válvulas y el área a regar por turno va a ser variable como se muestra en la cuadro 16. El caudal de operación para el sistema de riego es de 177 m³/h. La potencia teórica de la bomba es de 125 hp.

Cuadro 15. Descripción de las válvulas totales del terreno.

Válvula	Caudal (m ³ /h)	Presión (psi)	Área (ha)	Laterales
1	88.19	14	1.34	174
2	85.77	14	1.33	152
3	76.40	14	1.19	121
4	70.05	14	1.08	106
5	76.19	16	1.17	137
6	78.52	14	1.19	132
7	71.02	14	1.08	133
8	70.60	14	1.07	133
9	80.37	16	1.23	135
10	72.86	16	1.11	136
11	73.56	14	1.11	130
12	77.86	16	1.19	130
13	67.95	16	1.04	130
14	68.93	16	1.05	130
15	61.44	14	0.94	130
16	57.49	14	0.87	130
17	68.67	14	1.04	130
18	68.72	14	1.04	130
19	78.38	14	1.19	130
20	76.93	14	1.16	131
21	69.92	14	1.06	117
22	71.55	14	1.09	118
23	70.76	14	1.08	121
24	72.52	14	1.10	125
25	62.25	14	0.96	128
26	65.67	14	1.01	119
27	77.16	14	1.17	120
28	76.74	14	1.17	119
29	73.05	14	1.10	121
30	71.28	14	1.07	121
31	67.07	14	1.02	115
32	71.02	14	1.09	117
33	67.27	14	1.03	119
34	67.76	14	1.03	120
35	67.66	14	1.03	120
36	58.48	14	0.90	120
37	59.90	14	0.91	168

Válvula	Caudal (m ³ /h)	Presión (psi)	Área (ha)	Laterales
38	74.10	14	1.13	184
39	73.43	14	1.13	181
40	72.00	14	1.11	178
41	70.99	14	1.09	175
42	71.71	14	1.09	181
43	71.04	14	1.10	182
44	69.08	14	1.04	185
45	70.73	15	1.09	187
46	48.05	15	0.75	133
47	74.90	16	1.15	170
48	50.15	14	0.76	133
49	32.71	14	0.75	105
50	41.32	14	0.94	137
51	47.21	16	1.09	151
52	29.93	16	0.75	53
53	22.71	14	0.52	65
54	8.27	14	0.19	61
55	6.16	14	0.14	46
56	26.30	14	0.60	100
57	21.12	14	0.49	102
58	39.37	14	0.90	171
59	52.05	14	1.18	188
60	56.73	14	1.29	193
61	45.78	14	1.05	194
62	44.97	14	1.03	153
63	43.92	14	0.99	144
64	43.01	14	0.98	144
65	42.62	14	0.97	143
66	40.19	14	0.93	121
67	43.29	14	1.00	125
68	41.34	14	0.97	124
69	39.17	14	0.92	120
70	50.84	14	1.16	178
71	43.41	14	0.99	158
72	36.17	14	0.83	130
73	30.20	14	0.72	111
74	179.30	14	0.96	134

Válvula	Caudal (m ³ /h)	Presión (psi)	Área (ha)	Laterales
75	45.92	14	1.10	116
76	18.63	16	0.46	91
77	32.60	16	0.75	95
78	33.84	14	0.77	89
79	34.87	14	0.81	91
80	43.67	14	1.01	194
81	38.88	14	0.89	172
82	51.03	14	1.16	136
83	51.36	16	1.23	119
84	39.71	16	0.92	85
85	42.18	16	0.96	137
86	57.88	16	1.34	140
87	47.06	14	1.07	125

Cuadro 16. Válvulas a regar por turno.

Turno	Caudal (m ³ /h)	Área (ha)	Válvulas
1	173.96	2.67	1,2
2	146.45	2.27	3,4
3	154.71	2.36	5,6
4	141.63	2.15	7,8
5	153.23	2.34	9,10
6	151.42	2.30	11,12
7	136.88	2.09	13,14
8	118.93	1.81	15,16
9	137.39	2.09	17,18
10	155.31	2.35	19,20
11	141.47	2.15	21,22
12	143.27	2.18	23,24
13	127.92	1.97	25,26
14	153.91	2.34	27,28
15	144.32	2.17	29,30
16	138.08	2.10	31,32
17	135.03	2.05	33,34
18	126.14	1.92	35,36
19	139.82	2.13	44,45
20	119.09	1.86	43,46
21	142.70	2.18	41,42
22	145.43	2.23	39,40
23	133.99	2.04	37,38

Turno	Caudal (m ³ /h)	Área (ha)	Válvulas
24	125.05	1.91	47,48
25	121.24	2.78	49,50,51
26	93.38	2.20	52,53,54,55,56
27	112.55	2.57	57,58,59
28	147.48	3.37	60,61,62
29	129.54	2.95	63,64,65
30	122.64	2.85	66,67,69
31	112.26	2.64	68,73,74
32	130.42	2.97	70,71,72
33	119.94	2.79	76,77,78,79
34	128.47	3.00	75,80,81
35	104.93	2.4	86,87
36	102.39	2.38	82,83
37	81.89	1.88	84,85

Sistema de bombeo. Tiene que proporcionar un caudal de 177m³/h y vencer una carga dinámica total de 91 m.c.a. La potencia del motor de la bomba tiene que ser como mínimo 125 caballos de fuerza (hp).

Presupuesto. El costo total del proyecto de diseño de riego es de US \$ 7,517.07/hectárea (Cuadro 17).

Cuadro 17. Cálculo del presupuesto de la implementación del sistema de riego.

Descripción	US \$/ha
Tubería y accesorios	2,851.77
Bomba	343.64
Cinta de goteo	3,949.20
Caseta	15.07
Zanjeo	286.37
Mano de obra	71.02
Total	7,517.07

Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR). El análisis financiero fue realizado para cinco años por hectárea. Para cada año se consideró que por hectárea se obtendrán dos cosechas de maíz y uno cosecha de soya. En el Cuadro 17 la inversión de la tubería y accesorios, bomba, caseta, zanjeo y mano de obra en la instalación se amortizó a diez años por lo cual a los cinco años se tiene un valor de rescate de US \$ 19.98/ha. El

costo total de la cinta de goteo incluye el cambio anual de cinta durante cinco años (Cuadro 17). Para el cultivo de maíz el valor actual neto (VAN) es de US \$ 16404.11 con una tasa interna de retorno (TIR) 42%. Para el cultivo de soya el valor actual neto (VAN) es de US \$ 8357.20 con una tasa interna de retorno (TIR) de 42%.

5. CONCLUSIONES

- El río Yeguaré abastece adecuadamente el requerimiento de caudal que demanda el sistema de riego para los lotes seleccionados y condiciones indicadas.
- El sistema de riego diseñado tiene la capacidad de satisfacer la demanda hídrica del cultivo de maíz y soya en cualquier época del año.
- La implementación del sistema de riego es factible desde el punto de vista económico ya que el VAN y la TIR presentan valores positivos.

6. RECOMENDACIONES

- Colocar la cinta de riego enterrada a 0.20 metros para evitar daño mecánico en las labores culturales que realizan los alumnos. Si se decide colocar el riego subterráneo hay que colocar una cinta de goteo con un mayor grosor de pared.
- Hacer un diseño de drenaje especialmente para el área con texturas arcillosas donde se presentan problemas de saturación de agua en el suelo en la época lluviosa.
- Sembrar otros cultivos que nos den una mayor rentabilidad y que tengan un amplio mercado en Honduras.

7. LITERATURA CITADA

Cruz Orellana, F.A. 2008. Diseño de un sistema de riego por goteo en el área del El Llano en El Zamorano, Honduras. Proyecto de Graduación del programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, 49 p.

FAO, 2011. Mejora de la agricultura de regadío (en línea). Consultado el 14 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s10.htm>

FAO, 2012. Crop Water Information: Maize (en línea). Consultado el 14 de septiembre de 2012. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_maize.html

Garcia, J.R., F. Sosa y J. Fernández. 2009. El agua del suelo (en línea). Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tecumán, Argentina. 17 p. Consultado el 28 de agosto. Disponible en <http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Agua%20del%20Suelo%20X.pdf>

Israelsen, O.W., Hansen V.E. 1979. Principios y aplicaciones del riego. Editorial reverté, España. 399 p.

NaanDanjain Irrigation. 2011. Maíz (en línea). Consultado 10 de septiembre de 2012. Disponible en http://es.naandanjain.com/uploads/Crop%20Booklets/Spanish/Corn_america_latina_280411F.pdf

Palma, R. 2008. El riego agrícola y residencial. Hidrotecnia S.A. Guatemala, Guatemala. 128 p.

Pitty, A. 2009. Manual para la preparación de informes de investigación. Zamorano Academic Press. Tegucigalpa, Honduras. 132 p.

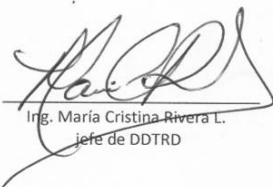
8. ANEXOS.

Anexo 1. Resultado de análisis de curvas de retención de humedad de las muestras de suelo.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG) DIRECCION GENERAL DE RIEGO Y DRENAJE (DGRD) DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE DDTRD							
LABORATORIO DE SUELOS INFORME DE RESULTADOS DE CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD							
INSTITUCION:				Escuela Agrícola Zamorano			
LOCALIZACION:				Francisco Morazán			
SOLICITADO:				Ing. Francisco Álvarez			
FECHA DE MUESTREO:				20/08/2012			
FECHA DE ENTREGA:				10/08/2012			

LOTE	CILINDRO	HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD			
				DENSIDAD APARENTE GR/CM ³	CAPACIDAD DE CAMPO ATM. 0.032	CRITERIO DE RIEGO ATM. 1.00	P.MARCHITES PERMANENTE ATM. 15.524
CALICATA 1	X-7	A	0,23	1,455	26,38	23,97	16,01
	W-49	A	0,23	1,406	25,17	21,79	15,52
	K-21	B	0,37	1,494	24,29	22,49	16,17
	W-46	B	0,37	1,547	22,09	20,34	15,84
CALICATA 2	X-52	A	0,29	1,478	34,25	32,05	22,81
	X-23	A	0,29	1,440	35,76	33,44	24,51
	R-23	B	0,31	1,452	33,95	33,65	30,70
	V-10	B	0,31	1,502	33,74	32,58	25,97
CALICATA 3	W-23	A	0,20	1,271	21,21	18,57	12,77
	K-29	A	0,20	1,430	22,92	20,75	14,22
	3	B	0,25	1,393	27,75	25,30	19,05
	R-6	B	0,25	1,373	26,56	24,64	19,02
	R-2	C	0,15	1,436	18,97	16,99	12,66
	R-4	C	0,15	1,449	17,77	16,18	12,39

NOTA: Resultado de Capacidad de Campo y punto de marchitez permanente ya esta multiplicado por la Densidad Áparente.

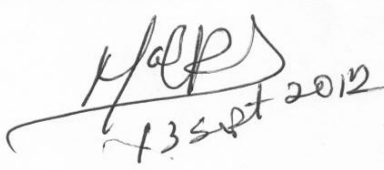


Ing. María Cristina Rivera L.
Jefe de DDTRD





Tec. Lab. Dorty Bendeño C.
Coord. Área de laboratorio



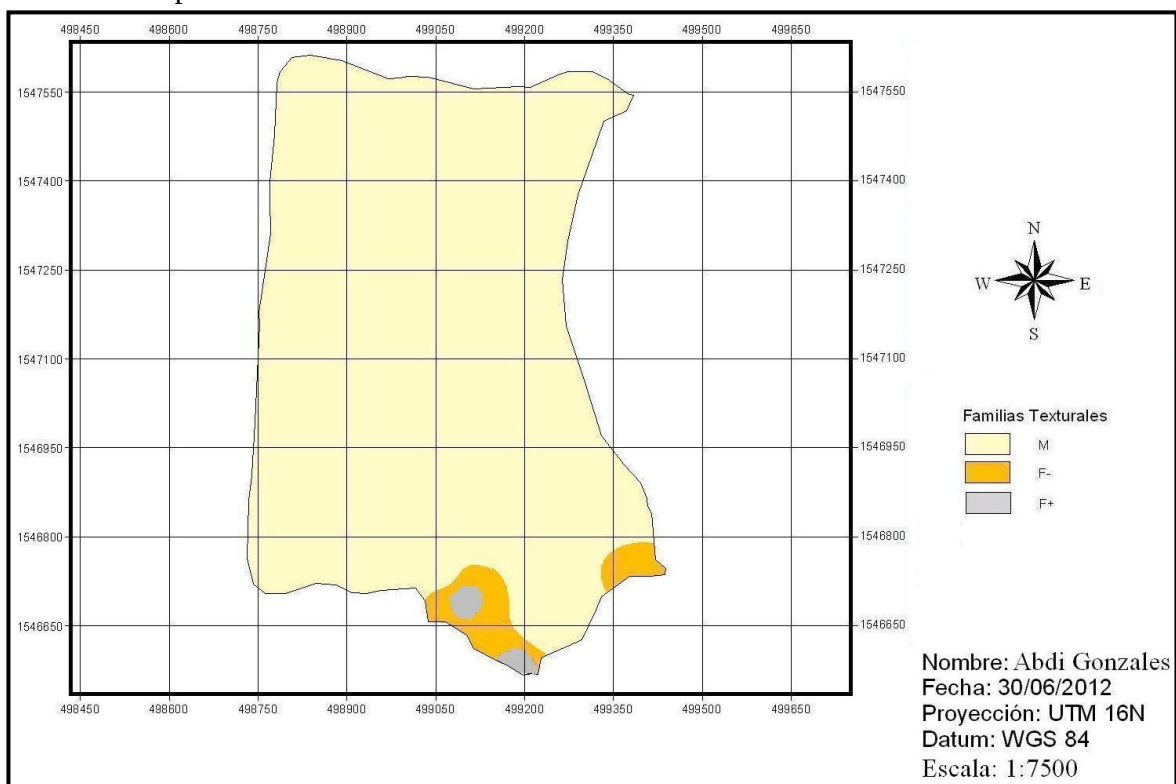
Anexo 2. Datos promedio diario semanal (mm/día) del 2005 al 2012 de la estación climatológica de la unidad de Maquinaria y Riego, EAP.

Week	Date	Days	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Average
1	1 ene al 7 ene	7		3.17	2.64	2.86	3.24	2.76	3.43	2.82	2.99
2	8 ene al 15 ene	8		2.81	3.38	3.13	2.47	3.09	3.32	3.39	3.08
3	16 ene al 23 ene	8		2.57	3.38	3.22	3.34	3.85	3.62	3.28	3.32
4	24 ene al 31 ene	8		2.97	3.35	3.34	3.13	3.36	3.68	3.32	3.31
5	1 feb al 7 feb	7		3.22	3.52	2.69	3.54	2.56	4.63	2.88	3.29
6	8 feb al 14 feb	7		3.46	4.12	3.75	3.30	4.83	3.88	3.31	3.81
7	15 feb al 21 feb	7		3.95	3.51	2.85	3.40	3.50	3.97	3.67	3.55
8	22 feb al 29 feb	7		4.02	4.27	4.05	2.91	4.36	4.19	4.04	3.98
9	1 mar al 7 mar	7		4.25	3.71	3.93	3.78	4.31	4.76	4.28	4.15
10	8 mar al 15 mar	8		4.29	4.10	4.10	3.96	5.09	4.38	3.90	4.26
11	16 mar al 23 mar	8		4.87	3.82	3.87	4.45	3.89	4.42	4.61	4.28
12	24 mar al 31 mar	8		4.49	4.08	4.04	4.45	4.29	4.66	4.79	4.40
13	1 abr al 7 abr	7		4.32	4.15	3.93	5.29	3.13	4.60	5.26	4.38
14	8 abr al 15 abr	8		4.84	4.75	4.43	4.14	3.94	4.80	5.15	4.58
15	16 abr al 22 abr	7		4.41	4.55	4.05	5.11	3.19	4.17	4.00	4.21
16	23 abr al 30 abr	8		4.38	4.44	5.06	3.36	3.74	4.23	4.79	4.29
17	1 may al 7 may	7		5.03	3.51	4.42	3.39	3.71	4.90	4.09	4.15
18	8 may al 15 may	8		4.79	4.31	5.36	4.04	3.76	3.77	4.02	4.29
19	16 may al 23 may	8		3.72	4.79	4.21	3.92	2.83	3.89	2.85	3.75
20	24 may al 31 may	8		4.51	3.87	3.69	4.09	1.72	3.64	3.39	3.56
21	1 jun al 7 jun	7		3.45	3.68	2.90	4.24	3.58	3.86	3.53	3.61
22	8 jun al 15 jun	8		3.24	3.92	4.06	4.06	3.01	3.88	3.60	3.68
23	16 jun al 22 jun	7		3.99	4.14	4.15	3.20	2.60	3.35	3.11	3.51
24	23 jun al 30 jun	8		3.54	3.80	2.64	3.92	2.61	2.97	4.46	3.42
25	1 jul al 7 jul	7		3.91	3.95	2.93	3.50	3.40	3.81	3.87	3.62
26	8 jul al 15 jul	8		3.38	3.00	2.66	3.18	2.36	3.73	3.43	3.10
27	16 jul al 23 jul	8		3.21	3.52	3.24	3.96	3.09	3.70	3.79	3.50
28	24 jul al 31 jul	8		3.79	3.76	3.74	3.57	2.99	3.54	4.03	3.63
29	1 ago al 7 ago	7		4.15	3.68	3.77	4.09	2.99	3.86	4.19	3.82
30	8 ago al 15 ago	8	4.24	3.20	3.75	3.30	3.95	2.80	4.02	3.44	3.59
31	16 ago al 23 ago	8	3.72	3.73	3.59	4.33	3.81	2.36	4.40	4.08	3.75
32	24 ago al 31 ago	8	4.43	3.93	3.58	3.67	3.24	5.30	3.76		3.99
33	1 sep al 7 sep	7	3.63	4.14	3.44	3.81	3.66	8.40	4.03		4.44
34	8 sep al 15 sep	8	3.75	3.94	3.16	4.09	4.43	2.98	4.06		3.77
35	16 sep al 22 sep	7	3.65	3.53	3.30	2.99	4.24	3.91	3.45		3.58
36	23 sep al 30 sep	8	3.53	3.81	3.55	3.28	3.02	2.13	3.85		3.31
37	1 oct al 7 oct	7	2.85	3.72	3.38	2.71	3.54	3.49	3.71		3.34
38	8 oct al 15 oct	8	3.02	3.36	2.50	2.87	3.48	3.73	2.56		3.08
39	16 oct al 23 ct	8	2.86	3.23	2.71	2.30	3.65	3.49	2.54		2.97
40	24 oct al 31 oct	8	2.87	3.49	3.43	2.78	3.48	3.11	3.64		3.26
41	1 nov al 7 nov	7	2.20	2.90	1.92	3.44	2.44	3.27	3.31		2.78
42	8 nov al 15 no	8	3.12	3.15	2.57	3.33	3.31	3.35	1.93		2.97
43	16 nov al 22 nov	7	2.85	3.73	2.80	3.21	3.55	2.90	2.66		3.10
44	23 nov al 30 nov	8	3.61	3.24	2.26	3.23	3.06	2.63	2.56		2.94
45	1 dic al 7 dic	7	3.12	2.82	3.25	2.96	3.47	2.74	3.14		3.07
46	8 dic al 15 dic	8	2.88	2.62	2.93	2.71	3.47	3.63	3.17		3.06
47	16 dic al 23 dic	8	2.88	2.91	2.66	2.46	2.76	3.55	2.38		2.80
48	24 dic al 31 dic	8	3.01	2.52	3.15	2.16	3.27	2.89	2.15		2.74

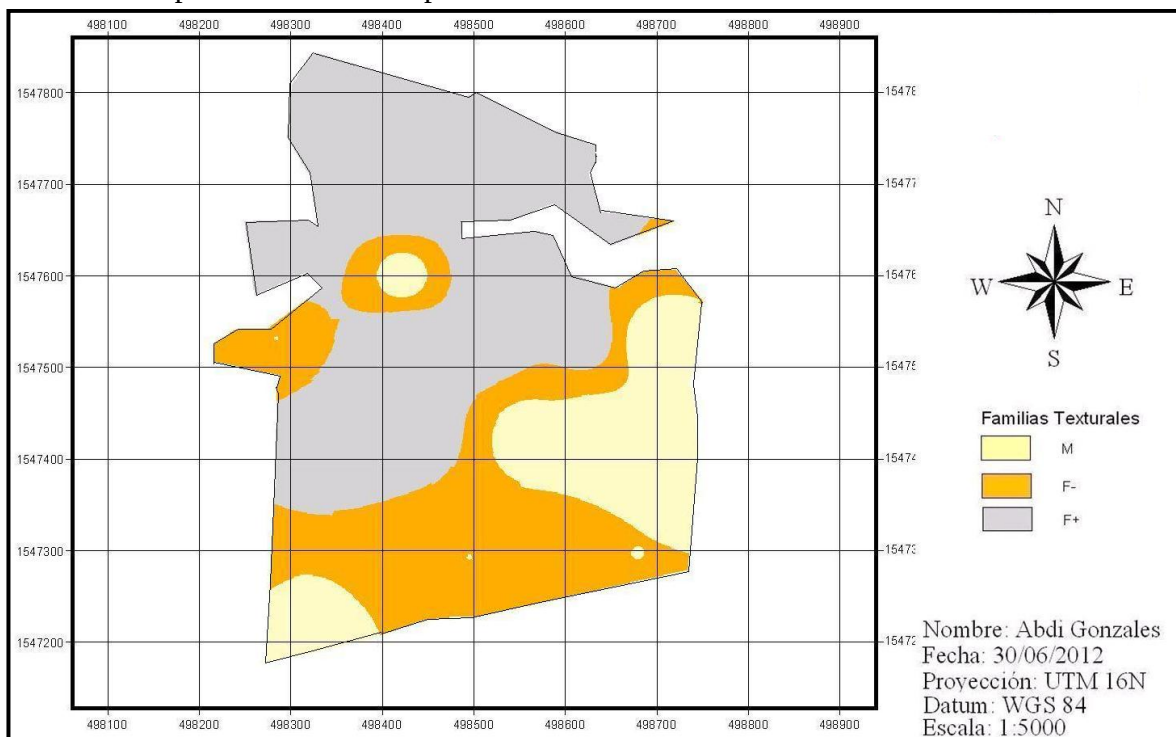
Anexo 3. Hoja de campo para toma de lecturas de tiempo de Infiltración.

Prueba 1							
Hora	Dif. Tiempo	Tiempo acumulado	Infilt. Local cm	Infilt. Instan. Cm	Infilt. Instan. Log	Tiempo Acum. Log	Observ.
08:08	0	0	0.0	0.0	0.0		
08:09	1	1	4.0	240.0	2.3802	0	
08:11	2	3	2.2	66.0	1.819543936	0.4771	
08:13	2	5	1.3	39.0	1.5911	0.6989	
08:18	5	10	5.0	60.0	1.77815125	1.0000	Grupo A
08:23	5	15	3.0	36.0	1.5563	1.1760	N=8
08:28	5	20	3.6	43.2	1.635483747	1.4623	
08:38	10	30	5.7	34.2	1.5340	1.4771	
08:48	10	40	6.0	36.0	1.556302501	1.6020	
				Suma	13.8511	7.8934	
08:58	10	50	5.2	31.2	1.494154594	1.6989	
09:08	10	60	4.2	25.2	1.4014	1.7781	
09:28	20	80	4.1	12.3	1.089905111	1.9030	Grupo B
09:48	20	100	0.2	0.6	-0.2218	2.0000	N=8
10:08	20	120	0.5	1.5	0.176091259	2.0791	
10:38	30	150	1	2.0	0.3010	2.1760	
11:08	30	180	1	2.0	0.301029996	2.2552	
12:08	60	240	2	2.0	0.301029996	2.3802	
				Suma	4.8428	16.2705	

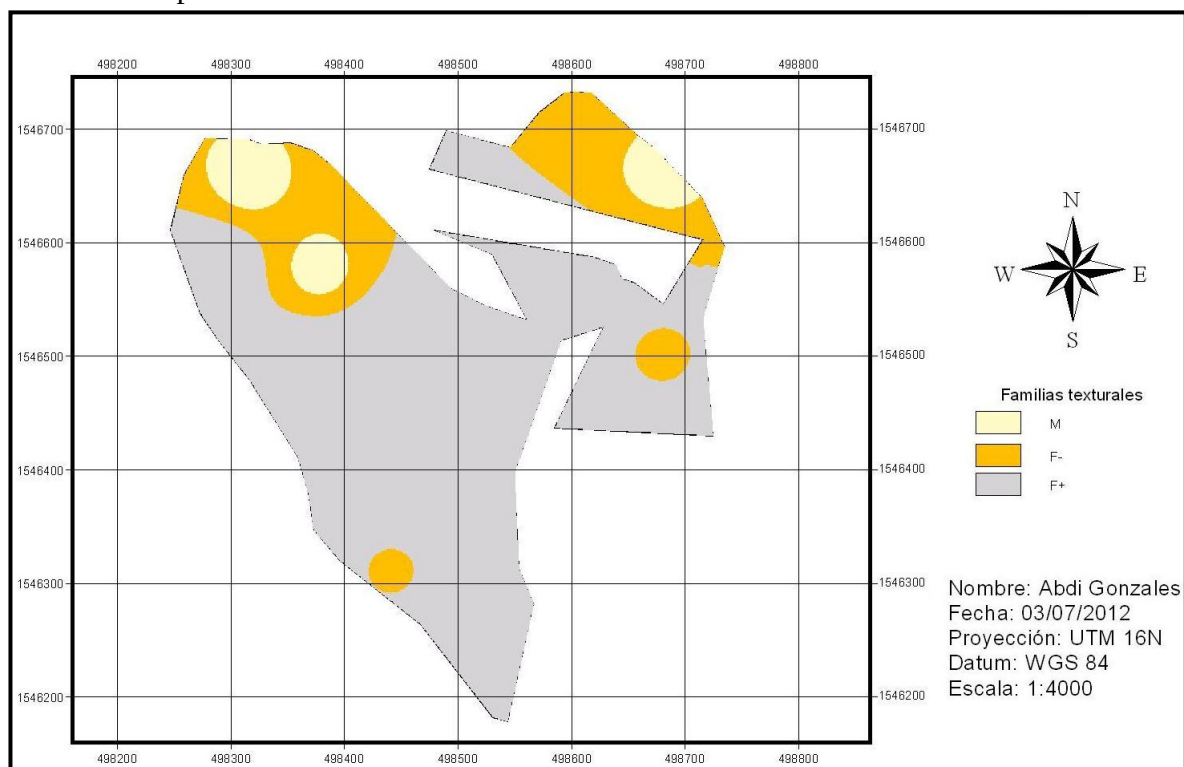
Anexo 4. Mapa textural de San Nicolás.



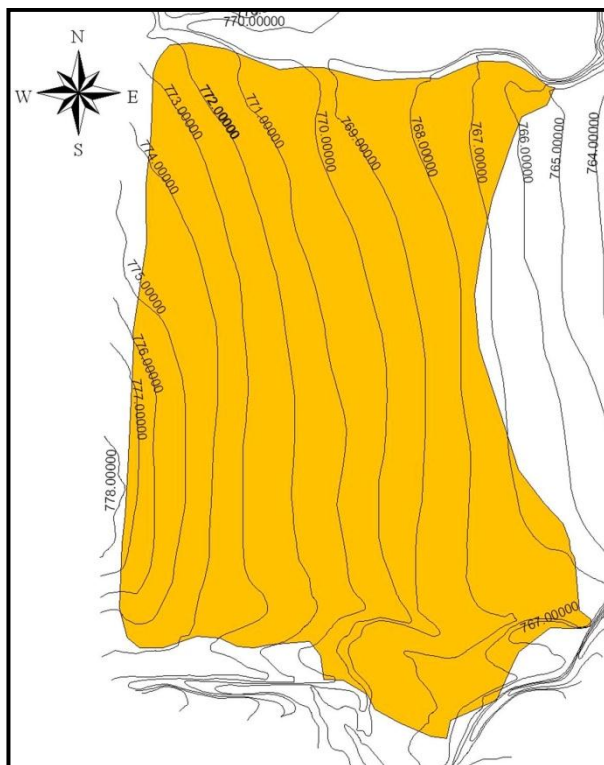
Anexo 5. Mapa textural de El Espinal.

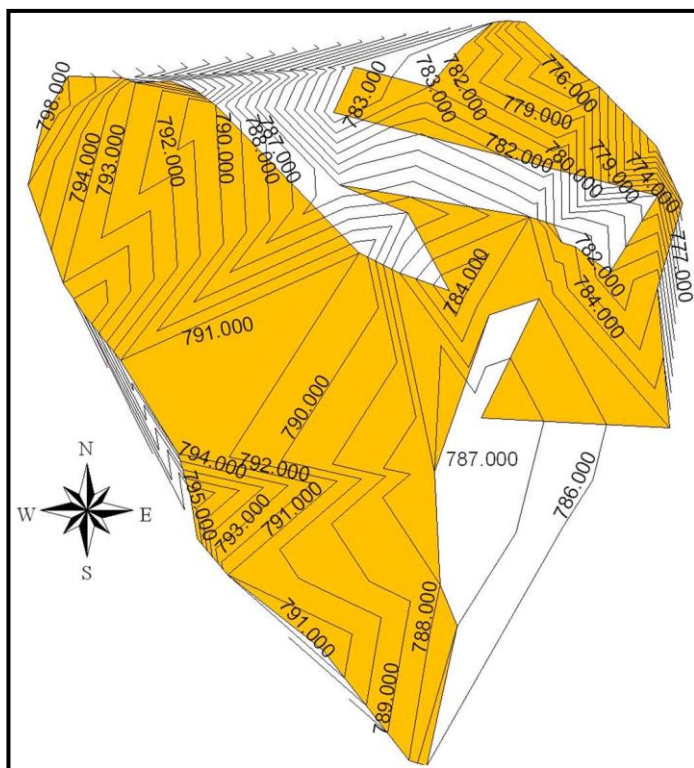


Anexo 6. Mapa textural de Masicarán.



Anexo 7. Curvas a nivel de San Nicolás.



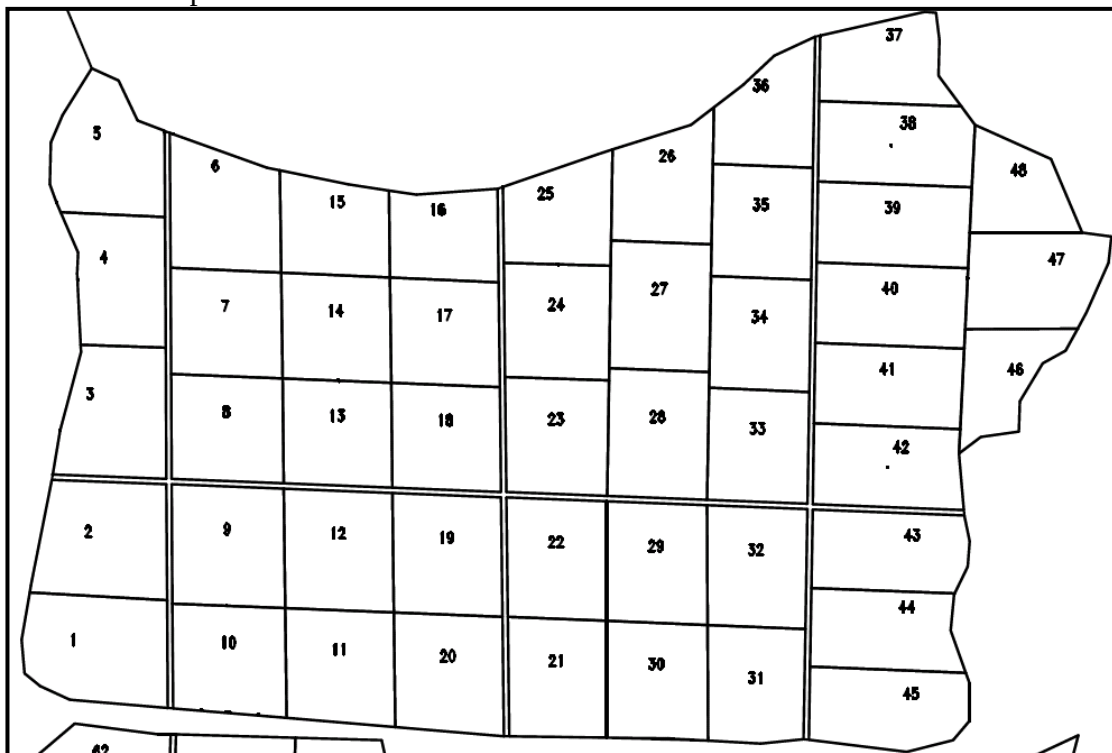


Anexo 10. Cotización de materiales a utilizar en el sistema de riego diseñado.

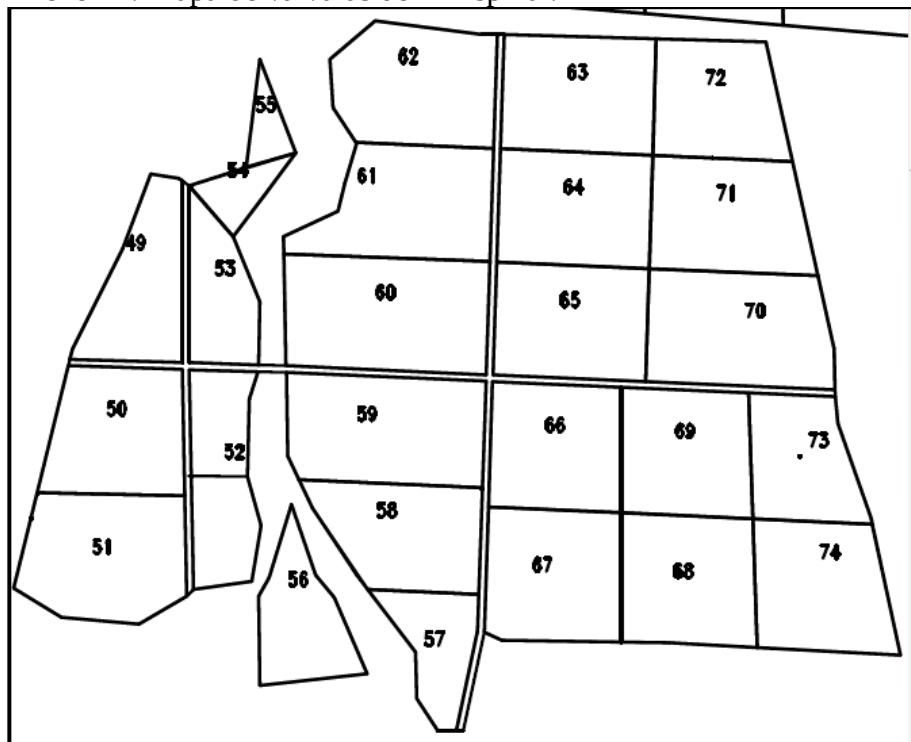
Detalle	Unidad	Precio Unidad US \$	Cantidad	Total US \$
Cinta goteo 20cm 2700mts 8mm 1.1 L (5.5 l/m/h) AZUD	rollo	170.63	254	43,340.02
Cinta goteo 15cm 2286mts 8mm 3.8 l/m/h AQUA-TRAXX	rollo	163.14	157	25,612.98
Tubo PVC SDR 32.5 8"	6 m	100.3	185	18,555.50
Tubo PVC SDR 41 8"	6 m	93.02	399	37,114.98
Tubo PVC SDR 41 6"	6 m	45.25	826	37,376.50
Tubo PVC SDR 41 4"	6 m	21.99	372	8,180.28
Tubo PVC SDR 41 3"	6 m	14.41	1198	17,263.18
Tubo PVC SDR 41 2"	6 m	6.32	427	2,698.64
Válvula bola 3" TECNOPLASTIC	unidad	59.35	3	178.05
Válvula bola 2" TECNOPLASTIC	unidad	22.9	84	1,923.60
Válvula aire 1" TORO	unidad	7.22	87	628.14
Válvula hid. 3x2x3 globo nueva vict.basica LAMA	unidad	368.96	6	2,213.76
Válvula mariposa 8" TECNOPLASTIC	unidad	252.78	1	252.78
Válvula mariposa 6" TECNOPLASTIC	unidad	118.96	2	237.92
Válvula chek rosca 8"	unidad	293.23	1	293.23
Adaptador hembra rosca 1" PVC SCH 4	unidad	0.33	87	28.71
Adaptador hembra rosca 3" PVC SCH 4	unidad	2.05	12	24.60
Adaptador macho rosca 2" PVC SCH 4	unidad	0.79	84	66.36
Adaptador macho rosca 3" PVC SCH 4	unidad	2.35	270	634.50
Tapón rosca hembra 3" SCH 40DURMAN	unidad	3.68	96	353.28
Tapón rosca hembra 2" SCH 40DURMAN	unidad	1.94	78	151.32
Reductor liso 8" - 6" PVC SCH 40	unidad	40.24	52	2,092.48
Reductor liso 6" - 4" PVC SCH 40	unidad	22.67	29	657.43
Reductor liso 6" - 3" PVC SCH 40	unidad	19.97	65	1,298.05
Reductor liso 4" - 3" PVC SCH 40	unidad	3.69	96	354.24
Reductor liso 3" - 2" PVC SCH 40	unidad	2.73	80	218.40
Reductor liso 2" - 1" PVC SCH 40	unidad	0.63	3	1.89
Tee lisa 8" PVC SCH 40	unidad	79.88	23	1,837.24
Tee lisa 6" PVC SCH 40	unidad	39.43	41	1,616.63
Tee lisa 4" PVC SCH 40	unidad	14.22	5	71.10
Tee lisa 3" PVC SCH 40	unidad	4.88	87	424.56
Tee lisa 2" PVC SCH 40	unidad	1.35	8	10.80
Codo liso 8" x 90 PVC SCH 40	unidad	60.67	4	242.68
Codo liso 8" x 45 PVC SCH 40	unidad	60.41	8	483.28
Codo liso 6" x 90 PVC SCH 40	unidad	35.06	26	911.56
Codo liso 6" x 45 PVC SCH 40	unidad	32.62	6	195.72

Detalle	Unidad	Precio Unidad US \$	Cantidad	Total US \$
Codo liso 4" x 90 PVC SCH 40	unidad	7.4	18	133.20
Codo liso 3" x 90 PVC SCH 40	unidad	4.6	87	400.20
Codo liso 3" x 45 PVC SCH 40 96 LPS	unidad	5.52	96	529.92
Codo liso 2" x 90 PVC SCH 40	unidad	1.31	5	6.55
Codo liso 2" x 45 PVC SCH 40	unidad	1.52	78	118.56
Cruz lisa 6" PVC SCH 40 SCH 40	unidad	429.73	11	4727.03
Filtro de arena vertical 37.6 m ³ /h 3" (estandar)diam 950 mm VITAU	unidad	1162.79	6	6976.74
Arena basáltica saco 25 kg LAMA	unidad	13.18	120	1581.60
Adaptador rosca macho 3" VICTAULIC LAMA	unidad	50.46	12	605.52
Flanger para válvula 6"	unidad	52.09	4	208.36
Manómetro gsl314-3 0 - 160 psi 2 1/2 UNIWELD	unidad	28.16	2	56.32
Reductor bushing hg 1/2" - 1/4"	unidad	1.42	2	2.84
Conector AZUDFIT PVC-Tubin con junta 16mm Azud	unidad	0.19	12600	2394.00
Conector AZUDFIT rosca mixto tubin-cinta azud	unidad	0.23	12600	2898.00
Tubin rollo 400 m 16 mm /1.2 mm AZUD	rollo	76.85	27	2074.95
Acoplamiento ranurado VICTAULIC 75 flexible 3" AZUD	unidad	10.31	12	123.72
Pegamento PVC lata 1-galon 91 80085	galón	34.88	40	1395.20
Cinta teflón 3/4" X 12 m TECNOPLASTIC	rollo	0.58	80	46.40
Motobomba gp-450 SHINDAIWA	unidad	29878.67	1	29878.67
Impuesto				17137.23
Total				278839.40

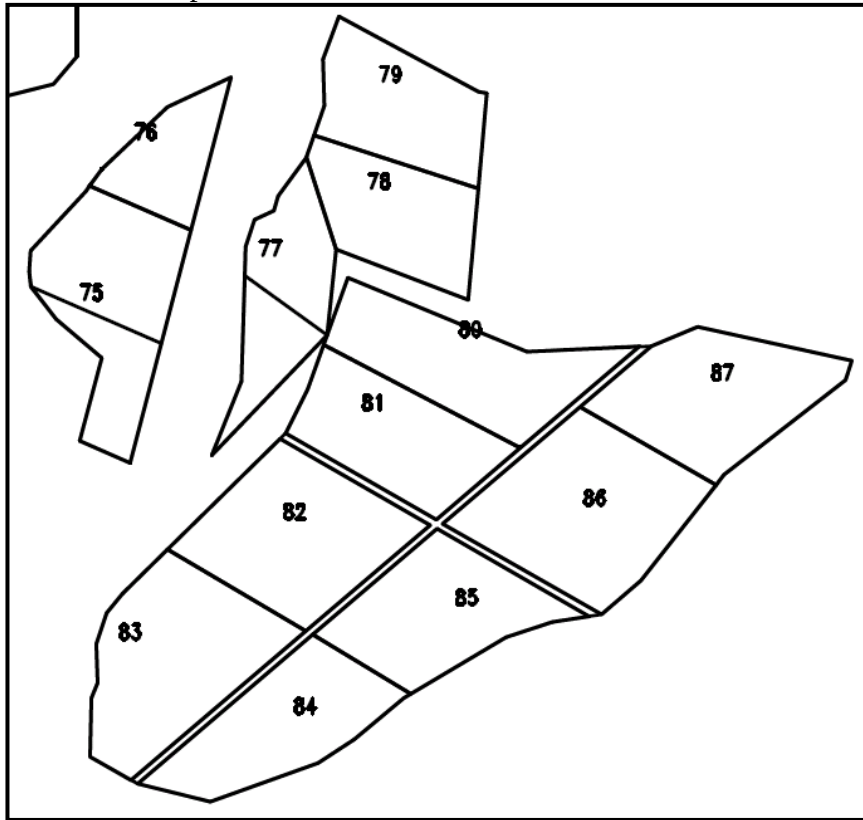
Anexo 11. Mapa de válvulas de San Nicolás.



Anexo 12. Mapa de válvulas de El Espinal.



Anexo 13. Mapa de válvulas de Masicarán.



Anexo 14. Costos totales para producir una hectárea de maíz.

Actividad	Unidad	Cantidad	P.Unitario US \$	Total US \$
Costos Fijos				
Análisis de Suelo de rutina y microelementos	Unidad	1	24.27	24.27
Costos Administrativos			94.72	0
Limpia (chapia, quema)	ha	1	28.01	28.01
Arado	h/ha	2	45.50	91.00
Rastra	h/ha	1	45.50	45.50
Rastra Liviana	h/ha	1	45.50	45.50
Acarreo	ha	1	29.49	29.49
Siembra (mecánica)	h/ha	1	28.82	28.82
Desgranadora	h/ha	1	27.81	27.81
Semilla Certificada	Lb	50	1.52	76.00
Larvin 1 gr	Kg	1	14.72	14.72
Rienda 21.2 EC	L	1	18.2	18.20
Antracol 70 WP	750 gr	1	6.07	6.07
BAYFOLAN FORTE	L	2	5.61	11.22
POLIQUEL ZINC 8%	L	1	7.49	7.49
12-24-12	43 kg	3	22.55	67.65
UREA 46%	43 kg	3	26.19	78.57
BASTA 15 SL	L	2	14.83	29.66
PARAQUAT CRIOLLO 20 SL	L	5	19.21	96.05
Cosecha	Jornal	12	10.11	121.32
Aplicación Herbicida	Jornal	2	10.11	20.22
Aplicación fungicida	Jornal	2	10.11	20.22
Aplicación Insecticida	Jornal	2	10.11	20.22
Aplicación Fertilizantes	Jornal	2	10.11	20.22
Control manual de malezas	Jornal	1	10.11	10.11
Desgrane	Jornal	1	10.11	10.11
Transporte (campo a bodega)	camionada	1	25.28	25.28
Total Costos Fijos				973.73
Costos Variables				
Sacos y Materiales	unidad	250	0.25	62.5
Total Costos Variables				62.5
Costos Totales				1036.23

Anexo 15. Costos totales para producir una hectárea de soya.

Actividad	Unidad	Cantidad	P.Unitario US \$	Total US \$
Costos Fijos				
Análisis de Suelo de rutina y micro elementos	Unidad	1.00	24.27	24.27
Costos Administrativos			94.72	94.72
Limpia (chapia, quema)	Ha	1.00	30.89	30.89
Arado	Horas/Ha	1.00	45.5	45.5
Subsoleo (3 años)	pase	2.00	38.98	77.96
Rastra Pesada	ha	1.00	42.47	42.47
Rastra Liviana	Horas/Ha	1.00	28.01	28.01
Riego	Ha	2.00	30.33	60.66
Siembra (mecánica)	Hora/Ha	1.00	28.82	28.82
Cosecha combinada	Hora/Ha	0.75	50.56	37.92
Aplicación herbicida, insecticidas y fertilizantes	Hora	3.00	30.33	90.99
Semilla Certificada	kg	50.00	1.52	76
Danitol	Litro	1.00	32.36	32.36
Lorsban 4e	Litro	1.00	22.75	22.75
Bravo	200gr	1.00	12.64	12.64
Bayfolan forte	Litro	2.00	5.61	11.22
Kcl	QQ	0.50	24.37	12.19
Fusilade forte	Litro	2.00	27.3	54.6
Flex	Litro	2.00	27.4	54.8
Control Manual de Malezas	Jornal	3.00	10.11	30.33
Transporte (campo a bodega)	viaje	1.00	25.28	25.28
Total Costos Fijos				894.375
Costos Variables				
Sacos y Materiales	unidad	60.00	0.25	15
Total Costos Variables				15
Costos Totales				909.375

Anexo 16. Análisis financiero para el cultivo de maíz.

Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos	-10112.00	10112.00	10112.00	10112.00	10112.00	10112.00
Costo Inversión	-3990.60					
Ingresos Totales	-14103.00	10112.00	10112.00	10112.00	10112.00	10112.00
Egresos						
Costos fijos	-1947.50	1947.46.00	1947.46	1947.46	1947.46	1947.46
Costos variables	-62.50	62.5.00	62.50	62.50	62.50	62.50
Egresos Totales	-2010.00	2009.96	2009.96	2009.96	2009.96	2009.96
Utilidad Neta	-12093.00	8102.04	8102.04	8102.04	8102.04	8102.04
VAN	-12093.00	7169.95	6345.09	5615.12	4969.13	4397.46
VAN Total	16404.10					
TIR	42%					

Anexo 17. Análisis financiero para el cultivo de soya.

Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos	-5055.50	5055.50	5055.50	5055.50	5055.50	5055.50
Costo Inversión	-2079.60					
Ingresos Totales	-7135.10	5055.50	5055.50	5055.50	5055.50	5055.50
Egresos						
Costos fijos	-894.38	894.37	894.37	894.37	894.37	894.37
Costos variables	-15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Egresos Totales	-909.38	909.37	909.37	909.37	909.37	909.37
Utilidad Neta	-6225.70	4146.13	4146.13	4146.13	4146.13	4146.13
VAN	-6225.70	3669.14	3247.02	2873.47	2542.90	2250.35
VAN Total	8357.21					
TIR	42%					