

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE MEDIANTE DRENES
ABIERTOS EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE ERNST PARA EL
CULTIVO DE BANANO**

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. CARACTERIZACIÓN DEL TEMA	1
1.2. IMPORTANCIA DEL PROYECTO	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	3
1.5. HIPÓTESIS	3
1.6. APORTE TEÓRICO	4
1.7. APLICACIÓN PRÁCTICA	4
1.8. MARCO TEÓRICO	4
1.8.1. EL SISTEMA SUELO.....	4
1.8.2. EL CULTIVO DE BANANO.	5
1.8.3. DRENAJE AGRÍCOLA.	6
1.8.4. SISTEMAS DE DRENAJE.	12
Drenajes Primarios o Colectores.	13
1.8.5. Espaciamiento de los drenes.	14
1.8.6. FÓRMULA DE ERNST.	15
1.8.7. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	17
Espaciamiento entre Drenes.....	18
Precipitación de diseño.	19
1.8.8. DISEÑO HIDRÁULICO.	21
Estudio Hidrológico	22
Estudio de Campo.....	22
Estudio Topográfico	22
Estudio de las propiedades físicas del Suelo	22

Estudio del Nivel Freático	23
Pozos de observación	24
Estudio de la Conductividad Hidráulica	24
1.8.9. CAUDAL DE DISEÑO.....	27
CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.	27
CALCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO.	27
Calculo de la Escorrentía de diseño.	28
Calculo del Coeficiente de Drenaje.....	29
CAPÍTULO II.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1 LOCALIZACIÓN.....	30
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	30
2.3 DATOS CLIMÁTICOS DE LA ZONA.....	30
2.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
2.5 MÉTODO.....	31
2.6 MANEJO DEL PROYECTO.....	31
2.6.1. LEVANTAMIENTO CARTOGRÁFICO.....	31
2.6.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO:.....	31
DELIMITACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	31
2.6.3. DESCRIPCIÓN DEL PREDIO.....	32
2.6.4 ESTUDIOS EDAFOLÓGICOS.....	32
2.7 MATERIALES Y EQUIPOS.....	32
2.8 VARIABLES EVALUADAS.....	32
CAPÍTULO III.....	33
RESULTADOS.....	33
3.1. ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	33
PRUEBAS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	37
Conductividad hidráulica:	39
POZOS DE OBSERVACIÓN.....	40
LECTURAS DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN.....	40
ANÁLISIS DE DATOS DE PLUVIOMETRÍA.....	41
CAUDAL DE DISEÑO.....	42

Calculo de la infiltración potencial.....	42
Calculo de la escorrentía potencial:.....	42
Calculo en tiempo de drenaje:	42
Calculo de la Escorrentía 24	42
Calculo del coeficiente de drenaje:.....	42
Calculo del caudal de diseño:	42
DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL PRINCIPAL.....	42
Comprobación de las dimensiones del canal.	43
DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL SECUNDARIO.....	43
Comprobación de las dimensiones del canal secundario	43
CAPÍTULO IV	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	46
4.1. CONCLUSIONES.	46
4.2. RECOMENDACIONES.	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS	51

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. CARACTERIZACIÓN DEL TEMA

En nuestro país, los problemas de drenaje son cada vez más agudos, producto de un inadecuado manejo de las aguas en las zonas de riego, o por excesos de lluvia en áreas de alta pluviosidad.

A no mediar una solución, esta situación traerá como consecuencia la necesidad de instalar extensos y costosos sistemas de drenaje, para controlar en buena forma la humedad del suelo y para otorgar mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Sin embargo previo a la implementación de cualquier sistema de drenaje, será necesario obtener la mayor información posible de los suelos que se van a drenar. Dentro de los diferentes aspectos que se deben contemplar en un estudio de este tipo, se destacan: clasificación de los suelos, levantamientos topográficos, determinación del nivel freático y, la determinación de algunas constantes hídricas de los suelos.

En nuestro país existen 190340 hectáreas sembradas de banano, de las cuales, 142300 hectáreas aproximadamente, tienen riego; 44500 se localizan en la provincia del Guayas.¹

¹ www.sica.gov.ec

El conocimiento y análisis de las condiciones climáticas es primordial para el diseño y construcción de estructuras tendientes al control de inundaciones o sobresaturaciones del suelo, especialmente de cultivos que poseen una tolerancia mínima a condiciones de exceso de agua. Se utilizarán datos meteorológicos de un período comprendido entre 1964 a 2006; de la estación meteorológica MILAGRO del INAMHI.

1.2. IMPORTANCIA DEL PROYECTO

El presente trabajo es importante porque en la zona objeto de estudio no existe información técnica sobre las dimensiones y distanciamiento adecuados de un sistema de drenaje abierto (Zanjas).

Su realización es muy trascendental por el hecho de que mediante la utilización de las formulas de Ernst para el cálculo de este sistema, permitiría determinarse de mejor manera la profundidad y/o distanciamiento de las zanjas, ya que son las más actualizadas (1995) en comparación con las de Hooghoudt con la que se ha diseñado la mayoría de los sistemas de drenajes para el cultivo de banano.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El planteamiento del problema implica la formulación de las siguientes preguntas:

¿Cuál es el diagnóstico edáfico (desde el punto de vista de drenaje) de los suelos del área en estudio?

¿A que profundidad se ubica la capa freática en la zona?

¿Qué profundidad deben tener las zanjas de este sistema para mantener la capa freática en un nivel adecuado para el buen desarrollo de las raíces del banano?

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un sistema de drenaje mediante drenes abiertos para el cultivo de banano en la zona de Naranjal, en la finca María Auxiliadora.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Caracterizar las propiedades físicas del suelo del área en estudio;
- ✓ Establecer el distanciamiento y/o dimensionamientos adecuados para drenes abiertos en el cultivo de banano en la finca María Auxiliadora,
- ✓ Determinar el nivel freático óptimo en el tiempo de drenaje que el cultivo de banano requiere, en esta finca.

1.5. HIPÓTESIS.

Es posible de que con la metodología de la ecuación de Ernst se obtengan distanciamiento y/o dimensionamientos más acordes con los requerimientos de drenaje del cultivo de banano, que al aplicar el método de Hooghoudt.

1.6. APOORTE TEÓRICO.

En las diferentes empresas del país existen muchos estudios o informaciones para determinar el distanciamiento y profundidad de las zanjas de drenaje, las mismas que son producto de investigaciones en otros países; además de que fueron realizadas con la fórmula de Hooghoudt.

1.7. APLICACIÓN PRÁCTICA.

La aplicación práctica que se puede lograr con la realización del presente trabajo, es la generación de información sobre:

Diseño y manejo de un sistema de drenaje en la finca María Auxiliadora,

Fluctuaciones de los niveles freáticos y de precipitación para la zona en estudio,

Los distanciamientos y profundidades adecuadas de los canales para el cultivo de banano.

1.8. MARCO TEÓRICO

1.8.1. EL SISTEMA SUELO.

Según **Soto, M.** (1994), el sistema suelo consiste de partículas sólidas de diferentes tamaños, las cuales se han clasificado de acuerdo a sus diámetros equivalentes en: arena, limo y arcilla. Estas fracciones tienen diámetros equivalentes en los rangos de 2.0 – 0.02, 0.02 – 0.002 y menores

que 0.002 mm respectivamente. La proporción de estas tres fracciones, determinan la textura del suelo.

La finalidad que persigue el drenaje es mantener las condiciones adecuadas de aireación y actividad biológica en el suelo, para que se dé el desarrollo normal de las raíces de los cultivos. También el drenaje permite la eliminación de sales de suelo y el mantenimiento de un balance salino adecuado para los cultivos (**Valverde**, 1998).

Un suelo mal drenado produce en el cultivo la reducción o eliminación del espacio con aire del suelo, evitando de esta manera la entrada de oxígeno atmosférico hacia las raíces, indispensable para sus funciones de respiración y crecimiento. Bajo tales circunstancias se limita el intercambio gaseoso en el suelo al no permitir la salida del dióxido de carbono (CO₂), con lo cual el sistema radical de las plantas puede morir por asfixia produciéndose la pérdida del cultivo (Pizarro, 1985; citado por **Soto**, 1994).

Asimismo, este autor manifiesta que las plantaciones establecidas en terrenos con mal drenaje no pueden hacer uso eficiente de los fertilizantes, ya que la energía derivada de la respiración dentro de la raíz es utilizada parcialmente en el proceso de absorción de nutrientes, y en tales condiciones dicha energía es mínima.

1.8.2. EL CULTIVO DE BANANO.

Según **Soto** (1994): La planta de banano necesita desarrollarse bajo condiciones armónicas entre el sistema radical y el foliar, para producir un fruto económicamente rentable y de buena calidad. Es por ello, que el sistema radicular de la planta de banano constituye un factor determinante;

por lo tanto la deficiencia o exceso de agua en los suelos bananeros es un factor muy importante en el normal desarrollo del cultivo. Excesos de agua con saturación del suelo por periodos de más de tres días provocan en la planta pérdidas irreparables en el sistema radical, que repercutirán en la fructificación de la planta y el desarrollo y llenado del fruto.

1.8.3. DRENAJE AGRÍCOLA.

Colina, S. De la. (1997) expresa que, el drenaje de tierras agrícolas tiene como objeto eliminar los sobrantes de agua del suelo, con el fin de mantener las condiciones necesarias de aireación y actividad biológica del mismo, para que las plantas puedan desarrollar los procesos de crecimiento de su sistema radical y, por ende, de su parte aérea.

Para Wesseling (**ILRI** 1978), el nivel freático ideal, para que el cultivo de banano no sufra significativamente en su productividad, es de 1,2 metros de profundidad a la distancia media entre dos drenes a las 24 horas.

Para **Razuri** (2004) “Los problemas de drenaje no son todos iguales, por el contrario, existen muchos tipos de éstos y los estudios deben modificarse tanto como sea necesario para adecuarlos a la resolución de cada problema en particular”.

Sierra (1994) indica que: cuando el nivel de la tabla de agua es alto su efecto es notorio sobre el aspecto de la plantación, la cual presenta un color amarillento, poco vigor del pseudotallo, y arrepollamiento en la aparición de las hojas. El tamaño de los racimos se reduce considerablemente.

Soto (1994) sostiene que: la localización de los drenes en una finca está influenciada por muchos factores, siendo uno básico el que los colectores

sirvan a menudo, al mismo tiempo como linderos entre fincas. Sin embargo si es posible, las zanjas deben situarse en la parte más baja del área, de esta forma se obtiene la mayor eficacia del drenaje con una excavación mínima.

Sierra (1994) indica que: en un sistema de drenaje se puede distinguir:

Dren principal, cuya función es de transportar el agua fuera de la zona a drenar (Predio).

Drenes primarios, cuya función es la de recoger el agua de los drenes de parcela y transportarla al dren principal (colector).

Drenes secundarios o de parcela, que son aquellos cuya misión es de controlar la profundidad del agua freática

Soto (2008) sostiene que: Parte del agua de riego o de lluvia que se infiltra en el suelo quedará almacenada en los poros y será utilizada por los cultivos y otra parte, se perderá por percolación profunda originando la elevación del nivel freático. Cuando el nivel freático alcanza la zona radicular, las plantas pueden sufrir daños debido al **anegamiento**. Para eliminar el agua en exceso de la zona radicular y las sales disueltas en la solución del suelo se utiliza el **drenaje subsuperficial**, que permite el flujo de agua freática hacia los drenes.

Para **Soto** (1994): No siempre hay una distinción clara de las funciones de los drenes; por ejemplo, todos los drenes primarios y secundarios tienen una misión de transporte, y, todos los drenes primarios y el principal controlan también en parte la profundidad del agua freática.

Para Pizarro (1985), citado por **Soto** (1994): Un suelo mal drenado produce en el cultivo la reducción o eliminación del espacio con aire del suelo, evitando de esta manera la entrada de oxígeno atmosférico hacia las raíces, indispensable para sus funciones de respiración y crecimiento. Bajo tales circunstancias se limita el intercambio gaseoso en el suelo al no permitir la salida del dióxido de carbono (CO₂), con lo cual el sistema radical de las plantas puede morir por asfixia produciéndose la pérdida del cultivo. Asimismo, las plantaciones establecidas en terrenos con mal drenaje no pueden hacer uso eficiente de los fertilizantes, ya que la energía derivada de la respiración dentro de la raíz es utilizada parcialmente en el proceso de absorción de nutrientes, y en estas condiciones dicha energía es mínima.

Este autor expresa que: Los factores que influyen en el nivel freático son:

- La precipitación y otras fuentes de recarga,
- La evaporación y las descargas de otro tipo,
- Las propiedades del suelo,
- La profundidad y espaciamiento de los drenes,
- La superficie de la sección de los drenes,
- Aporte o salida de agua subterránea,
- El nivel del agua en los drenes y
- Perdidas por lixiviación.

Para **Aidárov, et al**: El drenaje con una profundidad de 3 a 4 metros está diseñado para la evacuación de excesos de agua freáticas subsuperficiales

(hasta una profundidad de 2 a 3 m desde el nivel del suelo) y aguas subterráneas, provenientes de acuíferos subterráneos.

El **Manual Agropecuario** (1999) indica que los pasos para un proyecto de drenaje son: “reconocimiento del campo, investigación, jerarquización de los problemas, evaluación de las probables medidas correctoras, implementación de la solución y evaluación de la misma.

Para el **ILRI** (1978): “El reconocimiento de campo constituye una herramienta básica para realizar la planificación del trabajo posterior. En esta etapa se debe llegar a esclarecer los siguientes aspectos:

1. Localización y capacidad de los drenajes naturales.
2. Localización y condiciones de las salidas.
3. Prácticas de riego empleadas (sistemas de riego, eficiencia, etc.)
4. Determinación del nivel freático actual e información relacionada con su fluctuación.
5. Cultivo actual y tendencia futura.
6. Tipo, espaciamiento, localización, profundidad y efectividad de los drenes en el área problema y/o en áreas vecinas.
7. Marcas de alturas de crecidas que puedan ser usadas para evaluar su probable efecto.
8. Salinidad del suelo de la finca, del agua de riego, o de la zona en estudio.”

El **ILRI** en Teorías del drenaje agrícola y de la escorrentía (1978) indica que, “la elección apropiada del criterio de drenaje dependerá del conjunto de condiciones siguiente”:

Hidrológicas, que determinan la cantidad de agua que ha de drenarse en un tiempo determinado.

Agronómicas, que dependientes de los cultivos y condiciones específicas del suelo, determinan el límite superior permisible del contenido de humedad del suelo en la zona radicular y su duración.

Edáficas, que determinan las relaciones: entre aireación y contenido de humedad del suelo, nivel del nivel freático y ascensión capilar.

Económicas, que determinan las relaciones costo-beneficio, es decir, la relación entre costos de realizar obras de drenaje y los beneficios que se derivan al ser menos frecuentes y severas las mermas en los rendimientos.

Sierra (1994) indica que: la profundidad a la cual se establecen los drenes sub-superficiales está en función de la profundidad de la capa impermeable y de la estructura que presente el subsuelo. Mientras mayor sea la profundidad de la capa, mayor puede ser el espaciamiento.

La forma práctica de verificar si un cultivo necesita o no drenaje, es mediante la construcción de un pozo de observación en medio del cultivo, examinando la profundidad del nivel freático y midiendo la velocidad de descenso, posterior a un aguacero que sature al suelo (**Belalcázar** 1991).

Soto (1994), indica que el sistema de drenaje subsuperficial, es aquel que controla la elevación del nivel freático permitiendo que se den las condiciones agrológicas necesarias para el óptimo desarrollo del cultivo. Este control se logra ya sea con la construcción de canales o con la

instalación de tubos, de tal forma que se nombre se debe a la función que cumple y no al tipo de obra.

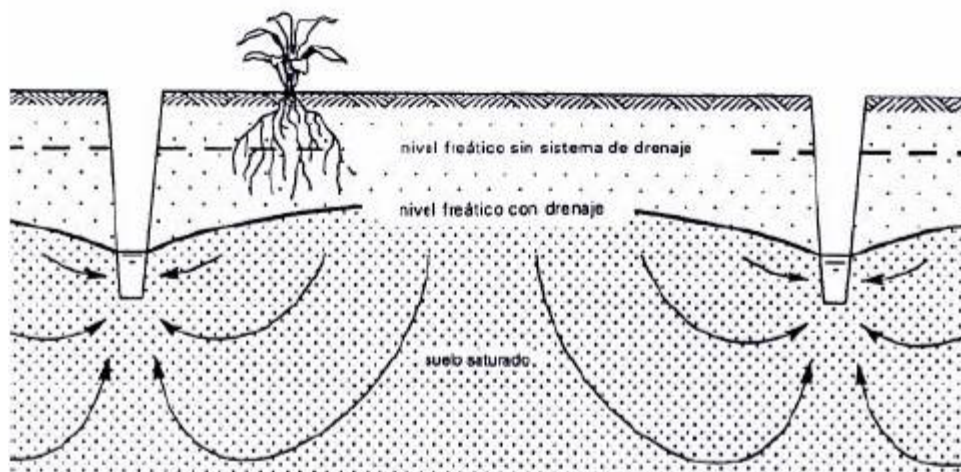


Figura 1. Tomada de: EL Drenaje Agrícola, Goicochea 1998

Según **Belalcázar** (1991), el requerimiento de drenaje sólo se puede establecer con base en la sensibilidad del cultivo a los excesos de humedad, a las condiciones climáticas y de suelos locales. El cultivo plantea las exigencias de drenaje, el suelo interpone sus limitaciones de acuerdo con sus características propias y el hombre decide sobre la conveniencia o no de instalar el sistema.

Según **Valverde** (1998), las consecuencias del problema de drenaje subsuperficial son la evaporación, que toma calor del suelo, disminuyendo la temperatura del mismo, lo que alarga el periodo de crecimiento; un nivel freático elevado limita severamente la penetración de las raíces; la estructura del suelo se ve seriamente afectada; las sales si están presentes en el suelo, tienden a concentrarse en la zona radicular, o en la superficie del suelo, tanto por elevación capilar del nivel freático como por la limitación del lavado de las mismas.

El sistema de drenaje por zanjas presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas	Desventajas
<p>Mayor capacidad de captación y conducción de agua</p> <p>Permiten una fácil inspección.</p>	<p>Pérdida de terreno</p> <p>Dificulta la mecanización</p> <p>Mantenimiento frecuente.</p>

Fuente: Soto 2008 e ILRI 1978

1.8.4. SISTEMAS DE DRENAJE.

Según **Soto** (1994) los parámetros básicos que se deben tomar en cuenta para el diseño de una red de drenajes son: profundidad de los drenes; espaciamiento entre drenes; dimensiones de las zanjas (diámetro de los tubos); los demás parámetros de diseño son elementos locales, tales como: coeficiente de drenaje; conductividad hidráulica; tiempo máximo que se debe drenar en función del cultivo; microporosidad del suelo; y sentido de flujo del nivel freático.

Su cálculo debe incluir drenajes primarios o colectores, secundarios, para después agregar los drenajes terciarios y los cuaternarios (sangrías). Su construcción se debe hacer con base en un estudio detallado y no siguiendo tradiciones de la zona o tratando de copiar sistemas de otras fincas (**Soto** 1994).

Drenajes Primarios o Colectores.

Los drenajes primarios son zanjas o canales que evacuan en forma pronta las aguas sobrantes del sistema; éstos pueden ser naturales como ríos, quebradas, o depresiones; o artificiales, contruidos de acuerdo a las necesidades. Debido a su tamaño es necesario el uso de maquinaria a fin de disminuir los costos durante su establecimiento. El cálculo está dado por el caudal de agua a evacuar y por lo general está incluido dentro de los siguientes ámbitos «ver figura» (Soto 2008).

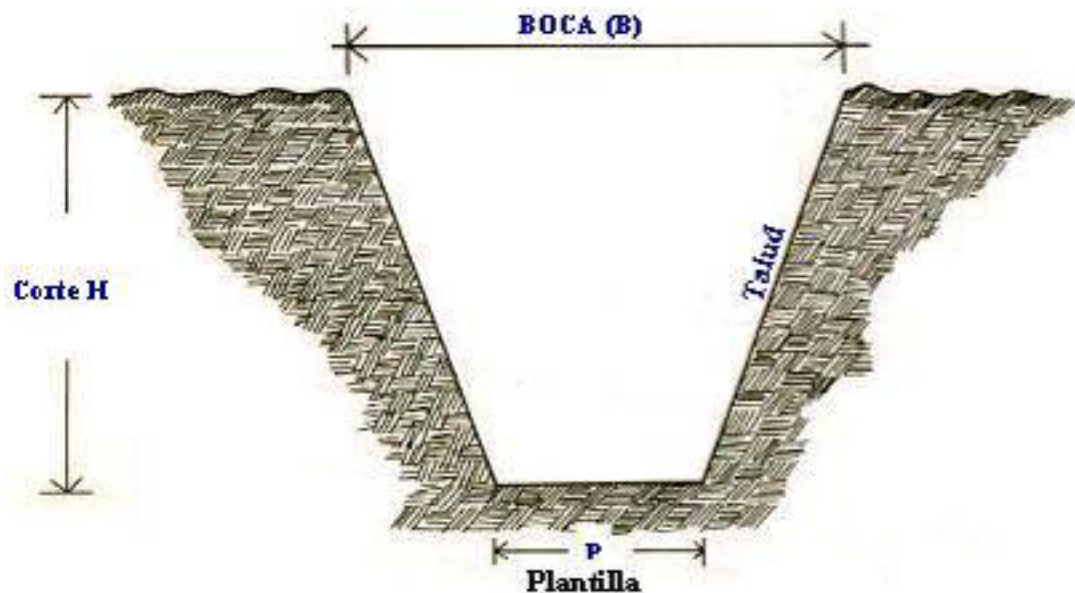


Figura 2. Tomada de: Soto 2008

Belalcázar (1991) indica que: La textura, densidad aparente, porosidad y macroporosidad son factores del suelo los cuales son fundamentales en el diseño de los drenajes. Para el análisis del perfil del suelo en los estudios de drenaje es básico construir calicatas que permitan analizar las variaciones del nivel freático y los cambios de textura en la profundidad del perfil, sobre todo para localizar estratos arcillosos de baja permeabilidad y la profundidad de la barrera impermeable.

Un conocimiento de las propiedades físicas de los suelos permite comprender su comportamiento en relación con los problemas de drenaje (**Belalcázar**, 1991).

Este mismo autor afirma que: El drenaje sólo aumenta la velocidad de salida del agua gravitacional, de allí en adelante opera la evapotranspiración. Por esta razón, en el estudio de las propiedades del suelo se deben incluir las curvas de retención de humedad.

Valverde (1998), sostiene que la profundidad del nivel freático en el perfil permite conocer el grado de severidad del problema de drenaje, pues es ahí donde se desarrollan las raíces.

Para **Belalcázar** (1991) “Los pozos de observación son las herramientas que aportan más elementos de juicio a la solución de un problema específico de drenaje. Sin embargo, exige una duración mínima de dos periodos de lluvia (años) para que incluya toda la distribución de las lluvias en dicha zona. El estudio consiste en la instalación organizada de una serie de pozos de observación. La distribución de estos pozos debe ser de forma en que se pueda analizar el sentido del flujo del nivel freático. Normalmente se instalan en cuadrículas y paralelos al drenaje natural de la zona”.

1.8.5. Espaciamiento de los drenes.

Belalcázar (1991) manifiesta: el distanciamiento está condicionado por los factores físicos, climáticos y de fluctuación del nivel freático y tienen como función bajar la tabla de agua a niveles óptimos. El sistema de drenaje que baja la tabla de agua es el terciario y debe de construirse contra las líneas de flujo y vertical al sistema secundario, que sirve como “colector”.

Soto (2008) expresa que: las formulas para el cálculo del espaciamiento de los drenes se basan en los principios del flujo de agua subterránea, para el cálculo del espaciamiento se consideran las constantes hídras de los suelos tales como: conductividad hidráulica de los diferentes estratos, profundidad de la capa impermeable, y el espacio poroso drenable; así como los requerimientos del cultivo para la profundidad de la nivel freático y la capacidad de descarga.

Valverde (1998), menciona que al diseñar un sistema de drenaje se parte del principio de que el dren provoca una baja en la carga hidráulica, que origina el movimiento de agua hacia él, formándose una curva, misma que es conocida como curva de abatimiento, cuya forma es una elipse.

Zúñiga citado por **Soto** (1994) manifiesta lo siguiente: Las ecuaciones para el cálculo del espaciamiento de los drenes terciarios han sido desarrolladas por varios autores, entre ellos: Hooghoudt, Donnan, Ernst, Glover-Dumm, entre otros. Estas se basan en suposiciones necesarias para su simplificación, tales como la de Dupuit-Forchheimer que considera el nivel freático como el tramo de una elipse.

1.8.6. FÓRMULA DE ERNST.

De acuerdo a **ILRI** (1978): la ecuación de Ernst (1956)², se utiliza en suelos que presentan dos estratos y el límite entre los dos estratos puede estar por encima o por debajo del nivel de los drenes.

Este mismo autor expresa que: el principio fundamental de la solución de

² ILRI. 1978. Teorías del drenaje agrícola y de la escorrentía Vol. II. Flujo sub-superficial de agua hacia los drenes. Págs. 21-22.

Ernst es el de considerar tres componentes en el flujo: vertical, horizontal y radial. Estos componentes dan un esquema bastante complejo del sistema total de flujo que está basado directamente en la analogía entre las leyes de Darcy y Ohm. La pérdida de carga hidráulica será:

$\Delta h = \Delta h_v + \Delta h_h + \Delta h_r$ De donde la carga corresponde a la ecuación:

$$h = R \frac{D_v}{K_v} + R \frac{L^2}{8 \sum (KD)_h} + R \frac{L}{\pi K_r} \cdot \ln \frac{a D_r}{p}$$

Donde:

h = Carga hidráulica total o altura de la nivel freático en el nivel medio de los drenes, en el punto intermedio de los mismos (m).

L = Espaciamiento entre drenes (m).

q = Descarga del dren por unidad de área superficial (m/día).

K_v = Conductividad hidráulica para el flujo vertical (m/día).

$D_v = h$ = Distancia vertical a la nivel freático en el punto medio de los drenes y el fondo de los drenes (m).

W_r = Factor de flujo radial.

D_r = Espesor del estrato donde se considera el flujo radial (m).

$K_1 D_1$ = Transmisividad hidráulica del estrato sobre el dren (m/día).

$K_2 D_2$ = Transmisividad hidráulica del estrato por debajo del dren (m/día).

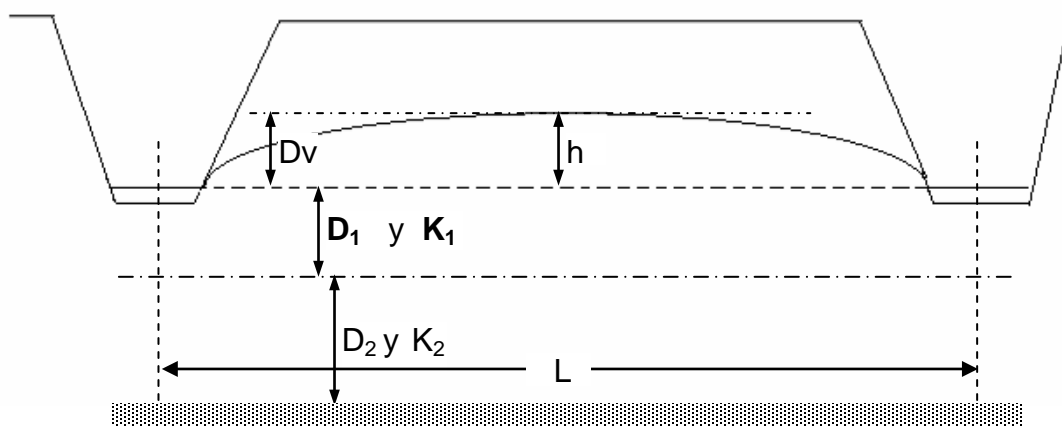


Figura 3. Tomada de ILRI 1978

Para **ILRI** (1978) La localización de las zanjas está influenciada por muchos factores, siendo uno básico que los drenes colectores sirvan a menudo al mismo tiempo como linderos entre fincas. Sin embargo, si es posible, las zanjas deben situarse en las partes más bajas del predio.

Para **GRASSI** (1991): conocer las características del movimiento del agua hacia el dren constituye un aspecto básico para diseñar un sistema de drenaje, ya que dicho estudio ofrece elementos de juicio para determinar la naturaleza y magnitud de las obras a realizar y el análisis económico de las mismas

Para el diseño de un sistema de drenajes se requiere de: estudios de suelo, de planos topográficos, datos de profundidad del nivel freático, así como también de datos hidrológicos (**Grassi** 1991).

Una vez efectuados los estudios, con el plano de ubicación y recomendaciones para cada canal; se procede a la construcción de estos. Los drenajes primarios y secundarios, deben de establecerse por lo menos con seis meses de anticipación a la siembra, con el fin de que el nuevo nivel freático se establezca y las funciones químicas y microbiológicas del suelo sean normales. Los canales primarios y secundarios deben de construirse con dragas o retroexcavadoras, con capacidades de acuerdo con su tamaño. Si se usan cauces naturales como canales primarios, deben de limpiarse y rectificarse, para que el movimiento del agua sea rápido (**Soto**, 1994).

1.8.7. ESTUDIO HIDROLÓGICO.

Se requieren de los estudios hidrológicos para determinar las lluvias críticas, que producen un incremento máximo en la elevación del nivel freático. Dado

que la precipitación es altamente variable en el tiempo y en el espacio, se debe contar con un número suficiente de datos y preferiblemente de varias estaciones meteorológicas, para lograr un buen grado de probabilidad en los estimados de los elementos críticos. Lo que se desea en última instancia, es la lluvia crítica que produce la descarga máxima (**Belalcázar**, 1991).

Para **ILRI** (1978) precipitación efectiva es “toda aquella precipitación que con el tiempo termina convirtiéndose en escorrentía”.

El mismo autor indica que: La lluvia de diseño depende del tiempo de drenaje (que determina la duración de la lluvia de diseño) y el período de retorno deseado (El Servicio de Conservación de Suelos, USA, recomienda períodos de retorno de 10 años en condiciones típicas del trópico).

Anderson (1966) citado por el autor anterior advierte que “A menos que el resultado este basado en datos precisos y completos, tales conclusiones están condenadas a ser absurdas”

Espaciamiento entre Drenes

El distanciamiento de los drenes está condicionado por factores físicos, climáticos y de fluctuación del nivel freático (**Belalcázar**, 1991), y tienen como función bajar la tabla de agua a los niveles preestablecidos. El sistema de drenaje que baja la tabla de agua es el terciario y debe de construirse contra las líneas de flujo, y perpendicular al sistema secundario, que sirve como colector.

Según **Soto** (2008), las fórmulas se basan en los principios del flujo de agua subterránea, para el cálculo del espaciamiento se consideran las constantes hídricas de los suelos tales como: conductividad hidráulica de los diferentes

estratos, profundidad de la capa impermeable y el espacio poroso drenable, así como los requerimientos de la profundidad de la capa freática y capacidad de descarga.

Para el autor anterior, las fórmulas se basan en los principios del flujo de agua subterránea, para el cálculo del espaciamiento se consideran las constantes hídricas de los suelos tales como: conductividad hidráulica de los diferentes estratos, profundidad de la capa impermeable y el espacio poroso drenable, así como los requerimientos de la profundidad de la capa freática y la recarga.

Precipitación de diseño.

Grassi (1991) manifiesta que la precipitación de diseño depende de dos factores principales: El tiempo de drenaje y el periodo de retorno deseado. El tiempo de drenaje determina la duración de la lluvia de diseño.

Linsley, et al (1977) indican que es evidente la relación entre la precipitación y la escorrentía. La cantidad de escorrentía a partir de una lluvia depende de las condiciones de humedad del suelo al comienzo de la lluvia y de las características de la lluvia tales como: Cantidad de precipitación, intensidad y duración.

Linsley y Franzini (1967) indican que Gumbel sugirió³, que una distribución de valores extremos era más apropiada para los análisis de datos hidrológicos, que los valores promedio.

³ E Gumbel. Floods Estimated by the Probability Method Vol. 134 Pág. 833 - 834. 1945

$$X_{\max} = \bar{X} - \frac{\sigma_x (0,5772 - b)}{1,2825}, \text{ en donde:}$$

$$b = -\ln(-\ln(1 - 1/T)) \text{ y } \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}}$$

X_{\max} = Valor máximo para un período de retorno determinado, en m³/s; mm; etc.

X = valores máximos anuales registrados, en m³/s; mm, etc.

T = período de retorno

$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$, valor promedio

N = número de años de registro.

σ_x = desviación estándar de los datos

Aparicio (1997), observó que los coeficientes 1,2825 y 0,5772 son válidos para muestras con 100 o más datos. Para menos de 100 valores, hay que sustituir estos coeficientes por otros tabulados. Al reemplazar estos coeficientes y sustituir **b** por su valor, la ecuación anterior se transforma en:

$$X_{\max} = X_m - \frac{\sigma_x}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T)$$

donde:

σ_N, \bar{Y}_N = constantes función de N (variables reducidas) Ver **anexo 2**

Las demás variables tienen el mismo significado.

ILRI (1978) indica que debido a que la precipitación es extremadamente variable en el tiempo y en el espacio, deberán analizarse datos de lluvia que cubran varios años.

Cavelaars citado por **ILRI** (1978) indica que: Cuando el cálculo de las dimensiones requeridas por las zanjas diera como resultado zanjas que son

tan pequeñas que resultan impracticables desde el punto de vista de su construcción y/o conservación; se recomienda como norma utilizar ciertas dimensiones mínimas:

Ancho de la plantilla (b) = 0,35 m

Profundidad total Do = 0,80 a 1,30 m

1.8.8. DISEÑO HIDRÁULICO.

En el diseño de un sistema de drenaje deben considerarse factores edafológicos tales como: la topografía, textura y estructura de suelos, porosidad total y efectiva (macroporosidad), capacidad de retención de agua (microporosidad), y en especial la permeabilidad de los diferentes estratos que permitirá determinar la presencia de capas impermeables o poco permeables que influirán en forma decidida en la altura del nivel freático dentro del perfil. Para un diseño apropiado es necesario hacer una serie de estudios, que permitan tomar las decisiones adecuadas: (**Soto, 2008**)

Como información general, se requieren planos de la finca que aporten datos relacionados con el área ocupada, su parcelación, distribución de la red de drenajes existentes, topografía; estudios anteriores relacionados al suelo de la zona que permitan establecer datos geohidrológicos valiosos para el análisis del problema; registros de las observaciones de aguas subterráneas; ubicación de la finca; localizar los puntos donde se presentan excesos de agua, indicar las causas de tales excesos; cultivo; tiempo de drenaje; lapso de inundación que el cultivo tolera sin reducir su producción; e historial de la finca en cuanto a riego y drenaje. (**Soto, 2008**)

Estudio Hidrológico

El análisis de los datos hidrológicos permite establecer la frecuencia, duración y severidad de las precipitaciones y sus efectos provocan en última instancia problemas de drenaje.

La cantidad de precipitación que cae sobre el terreno en un cierto período se expresa como una altura (mm) que cubriría un plano horizontal sobre el suelo. La altura de la precipitación puede ser considerada como variable estadística, cuyo valor depende de estación del año, duración elegida y área en estudio (**ILRI**, 1978).

Estudio de Campo

Los estudios de campo incluyen el estudio topográfico: plano con curvas de nivel y área de la finca; propiedades físicas del suelo, nivel freático, infiltración, conductividad hidráulica y calidad del agua (**Belalcázar**, 1991).

Estudio Topográfico

Valverde (1998), menciona que es uno de los elementos fundamentales que se utilizan para diseñar la red de drenajes y obras complementarias; además permite conocer la zona para diseñar la red y ubicar sitios de importancia que faciliten el drenaje natural. Por medio de este estudio se deben fijar los cauces existentes, alturas, depresiones, cambios de pendiente que influyen en el flujo y la velocidad del agua.

Estudio de las propiedades físicas del Suelo

La textura, densidad aparente, porosidad y macroporosidad son factores fundamentales en el suelo y diseño de los drenajes. Para el análisis del perfil

del suelo: en los estudios de drenaje es básico construir calicatas que permitan analizar las variaciones de nivel freático y los cambios de textura en la profundidad del perfil, sobre todo localizar estratos arcillosos de baja permeabilidad y la profundidad de la barrera impermeable (**Belalcázar**, 1991).

Para el autor antes mencionado, el drenaje sólo aumenta la velocidad de salida del agua gravitacional, de allí en adelante opera la evapotranspiración. Por esta razón, en el estudio de las propiedades del suelo se deben incluir las curvas de retención de humedad.

Estudio del Nivel Freático

Es importante conocer si los niveles freáticos provienen de mantos estabilizados (cuando la capa freática se encuentra sometida a la presión atmosférica y se desarrolla sobre la barrera impermeable) o confinados; en caso que provenga de mantos estabilizados es suficiente la apertura de una serie de pozos de observación; y si el manto es confinado, es decir que está sujeto a presión, se instala una red de piezómetros a diferentes profundidades para conocer el movimiento piezométrico. Este estudio es uno de los que aporta más elementos de juicio a la solución de un problema específico de drenaje. El estudio consiste en la instalación organizada de una serie de pozos de observación del nivel freático. La distribución de estos pozos debe ser de forma en que se pueda analizar el sentido del flujo del nivel freático. Normalmente se instalan en cuadrícula y paralelos al drenaje natural de la zona (**Belalcázar**, 1991).

Pozos de observación

Los pozos de observación registran las fluctuaciones del nivel freático, la medición periódica sirve para definir la necesidad de drenaje y establecer un diseño adecuado según las características del suelo. La cantidad de pozos está en función del tipo de suelo, se recomienda un pozo cada 2 - 4 hectáreas. Los pozos se ubican en el punto medio entre dos canales terciarios, así se registra la elevación crítica del nivel freático. (**Soto** 2008)

Para el autor anterior, las lecturas que se obtienen a través de los pozos sirven para la confección de hidrogramas que reflejan las fluctuaciones de la tabla de agua a lo largo de un determinado tiempo. Las mediciones deben efectuarse en forma periódica, la frecuencia depende del tipo de estudio que se esté realizando; en un estudio de reconocimiento, una frecuencia de una o dos veces al mes generalmente es suficiente. Para obtener una visión representativa de la posición de la capa freática de la zona en estudio, todas las mediciones deben hacerse de lo posible en la misma fecha, por lo general se recomienda hacerlas tres veces por semana.

Estudio de la Conductividad Hidráulica

Según Núñez (1992), citado por **Soto** (2008), la conductividad hidráulica es afectada por: la textura del suelo, tipos de poros; presencia de grietas; estructura del suelo; contenido de materia orgánica; presencia de capas de baja permeabilidad; horizontes de diferente textura y por lo tanto una fuerte anisotropía vertical.

La conductividad hidráulica puede determinarse en el campo mediante el método de agujero de barreno.

Este método es utilizado en suelos saturados, especialmente aquellos donde el nivel freático se halla a poca profundidad. Consiste en construir un pozo hasta unos 50 a 60 cm por debajo del nivel freático con una profundidad dada y luego medir la recuperación en función del tiempo (**Belalcázar**, 1991).

Belalcázar (1991) indica que para realizar bien este método deben de tomarse en cuenta una serie de consideraciones, tales como:

Elección del sitio de la prueba, los puntos elegidos deben ser representativos de un área determinada, la época apropiada es aquella en que se tenga la tabla de agua más cerca de la superficie.

Profundidad de perforación, dependerá de la naturaleza, espesor y secuencia de los horizontes del suelo.

Nivel de depresión, el nivel de agua en el pozo se deprimirá entre 20 y 40 cm, y medidas de velocidad de recuperación, pueden realizarse a intervalos fijos de tiempo o a intervalos fijos de la elevación del nivel de agua. El tiempo de recuperación, dependerá del tipo de suelo

En todos los casos, se debe tener la precaución de completar las medidas antes que el 25 % del volumen de agua extraído del orificio haya sido reemplazado por el flujo aportado por el agua del suelo.

Antes de comenzar el ensayo, se debe esperar a que se estabilice el agua para determinar exactamente la profundidad, del nivel freático, por venir referidas a esta todas las demás medidas. A continuación se extraerá el agua hasta un nivel y_0 contabilizando el tiempo que le toma en llegar hasta

una cota y_n ; con estas dos medidas se determinará la relación $\Delta y / \Delta t$ la cual multiplicada por la constante C, que es una función de y , H , r , S , dará la conductividad según la expresión:

$$K = C * \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

El valor de C se obtiene de un ábaco

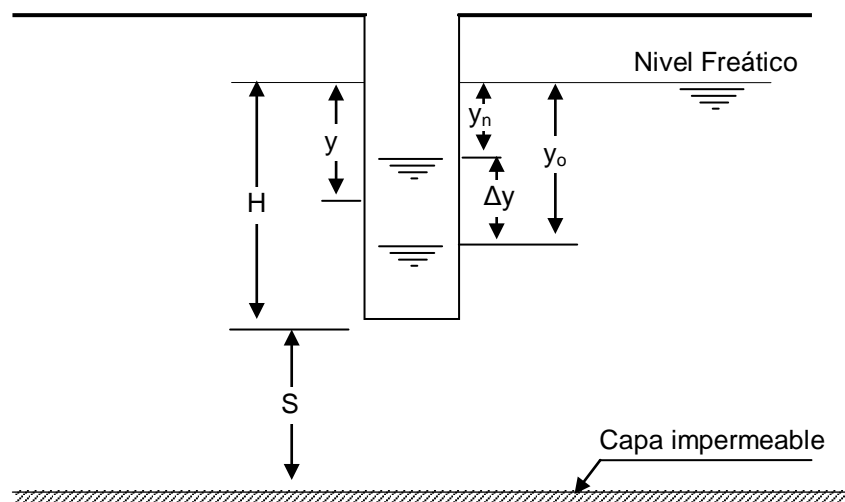


Figura 4. Tomado de López. Drenaje agrícola, teoría y bases de cálculo

Ernst propuso dos ecuaciones para el cálculo de C dependiendo de la distancia S desde el fondo del pozo a la capa impermeable: (**Grassi**, 1991)

$$S \geq \frac{1}{2} H$$

$$C = \frac{4000 \times r^2}{y \cdot (H + 20r)(2 - y / H)} \quad 4$$

⁴ Grassi. Drenaje de tierras agrícolas. Pág. 194

$$S = 0$$

$$C = \frac{3600 \times r^2}{y \cdot (H + 10r)(2 - y / H)}$$

Ernst confeccionó además dos ábacos que permiten el cálculo rápido de C.
Ver Anexo 3

1.8.9. CAUDAL DE DISEÑO

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.

Para el cálculo de la precipitación de diseño, se recomienda emplear curvas H-F-D o disponer de datos estadísticos de 10 o más años. (**Grassi** 1991)

$$X_{\max} = \bar{x} - \frac{\sigma_x}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T) \text{ (Distribución Gumbel)}$$

Donde:

X_{\max} = Valor extremo (Precipitación de diseño)

\bar{x} = media aritmética

σ_x = Desviación estándar de la muestra

σ_N = Desviación poblacional, Coeficiente función del número de datos

\bar{Y} = Variable reducida (Coeficiente función del número de datos)

T = Periodo de retorno (años)

CALCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO.

Grassi, C. (1991), recomienda que para el cálculo del caudal de diseño se utilice el método del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU,

empleando la Ecuación de Cypress Creek⁵. El SCS después del análisis de un gran número de cuencas, desarrolló este método basándose en el complejo Suelo-Cobertura-Humedad antecedente de las cuencas.

$$Q = \frac{C \times A^{5/6}}{1000}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño (m³/s)

A = Superficie a drenar en hectáreas

C = Coeficiente de drenaje en lt/s/ha

Calculo de la Escorrentía de diseño.

La escorrentía de diseño (E), es la lámina de exceso de agua que se debe evacuar en el tiempo de drenaje.

Para estimar la escorrentía de diseño se utiliza el método del “Numero de Curva” del Servicio de Conservación de Suelos, mediante la siguiente ecuación. (Razuri 2004)

$$E = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S}$$

Donde:

E = Escorrentía de diseño (cm)

P = Precipitación de diseño (cm)

S = Infiltración Potencial (cm)

⁵ Método para el cálculo del caudal de diseño desarrollado en 1969 por el SCS de los EE.UU.

La infiltración potencial se calcula mediante la ecuación:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25,4$$

Donde:

CN = Número de curva (adim)

El valor de CN se obtiene de la tabla 2 anexo 4, y depende del tipo hidrológico de suelo, del uso del suelo y la condición de lluvia antecedente.

Calculo del Coeficiente de Drenaje.

Grassi (1991) indica que el coeficiente de drenaje C, se obtiene de una ecuación propuesta por Stephen y Mills (1965)

$$C = 4,573 + 1,62 \times E24$$

Donde:

C = Coeficiente de drenaje (l/s/ha)

A su vez E24 se calcula mediante:

$$E24 = \frac{E \times 24}{Td}$$

Donde:

E = Escorrentía de diseño.

Td = Tiempo de drenaje del cultivo (hr)

Para el cultivo de banano el tiempo de drenaje es de 24 horas.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN.

La realización del experimento se llevo a cabo en la finca María Auxiliadora de propiedad del Ing. Eduardo Icaza ubicada en el recinto Los Palmares, parroquia Mariscal Sucre, Cantón Milagro, en la provincia del Guayas. La finca cuenta con una superficie de 25 has, sembradas en su totalidad de banano, de la cual se tomaron 10 has.

2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El presente proyecto de investigación estará ubicado, en las coordenadas:

Norte = 668.302, y

Este = 9´768.785

Altitud = 8 m Datum WGS84

2.3 DATOS CLIMÁTICOS DE LA ZONA.

Dato	Promedio Anual
Heliofania	2,5 h/día
Temperatura	26,7 °C
Pluviosidad	1381,2 mm
Humedad relativa	85 %
Evaporación	150 mm/mes

Fuente: Datos de Precipitación INAMHI Estación Valdez.

2.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo de investigación se ubicó dentro del tipo de investigación aplicada.

2.5 MÉTODO.

En la realización del presente trabajo de investigación, se aplicó el método analítico.

2.6 MANEJO DEL PROYECTO.

En la ejecución del presente trabajo experimental, se desarrollaron las siguientes actividades.

2.6.1. LEVANTAMIENTO CARTOGRÁFICO.

Para la ubicación de la zona objeto del presente trabajo de investigación, se utilizó una carta topográfica, levantada por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M), a escala 1:200000, Mapa 1, Anexo 8.

2.6.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO:

DELIMITACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.

Para la delimitación del área de estudio, se escogió un área de 10 ha, se delimitó en un plano de la finca de escala 1:2000 (plano 1, Anexo 9).

2.6.3. DESCRIPCIÓN DEL PREDIO.

El predio objeto de estudio es de topografía plana, suelo tipo inceptisol, de origen aluvial; profundo, pero con baja capacidad de drenaje natural.

2.6.4 ESTUDIOS EDAFOLÓGICOS.

Para el conocimiento de las características físicas de los suelos del área de estudio, se efectuaron los análisis físicos de muestras simples de los distintos estratos o capas de suelo que se localizaron en cada una de cuatro perforaciones hasta una profundidad de 4 m, o hasta encontrar un estrato limitante de la infiltración.

2.7 MATERIALES Y EQUIPOS.

Materiales:	Equipos:
Flexómetro Planillas de registro Fundas de polietileno Palin	Barreno Auger hole Balanza Computadora Cronómetro Permeámetro de carga variable

2.8 VARIABLES EVALUADAS.

Para la realización de la presente investigación se considero como variables en estudio:

- ✓ La tabla del nivel freático, y
- ✓ La estratificación del suelo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS.

3.1. ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.

Para el área de estudio se tomaron cuatro puntos estratégicamente ubicados a través de los cablevías del sector en mención, separados aproximadamente unos 125 metros de distancia entre ellos.

Se utilizó un barreno Auger Hole para la extracción de las muestras de suelo a diversas profundidades (hasta llegar a la capa impermeable o una capa muy arcillosa). A continuación se detallan las texturas de cada uno de los puntos localizados que se anexan en planos del predio, determinadas mediante el tacto.

Descripción del perfil. Muestra 1

Coloraciones castaño a café rojizas en el primer horizonte del suelo de 0 a 60 cm. Café claro a café a continuación y en general coloraciones café grisáceas a grisáceas a partir de los 80 cm en adelante. Nivel freático presente a más de 90 cm de profundidad.

Tabla 1. Muestra 1

Descripción	cm
Franco Arcilloso	0 - 80
Franco	80 - 105
Franco Arenoso	105 - 115
Franco Arcillo arenoso	115 - 130
Franco arcilloso	130 - 170
Arcilla franca	> 170

Perfil de estratificación de suelo: muestra 1

Descripción del perfil. Muestra 2

Coloraciones café rojizas en el primer horizonte del suelo, con presencia de moteaduras de color grisáceo desde los 40 hasta los 50 cm. En general coloraciones café grisáceas a grisáceas a partir de los 180 cm en adelante; a los 200 cm., se observa muchas moteaduras indicando claramente que este suelo a partir de los 100 cm tiene problemas de drenaje porque la tabla de agua en la época lluviosa alcanza a menos de 1 m de profundidad.

Tabla 2. Muestra 2

Descripción	cm
Franco Arcilloso	0 - 50
Presencia de moteadura	40 - 50
Arena franca	50 - 70
Arena	70 - 100
Franco arenoso	100 - 110
Arena	110 - 120
Franco limoso	120 - 150
Franco arenoso	150 - 180
Franco Arcillo	180 - 300
moteadura severa	200 - 225
Tabla de agua (verano)	270
Arcilla	> 300

Perfil de estratificación de suelo: muestra 2

Descripción del perfil. Muestra 3

Coloraciones café rojizas en el segundo horizonte del suelo, con presencia de moteaduras de color grisáceo a los 40 cm. En general coloraciones café rojizas a partir de los 150 cm en adelante hasta los 200 cm., se observa muchas moteaduras indicando claramente que este suelo a partir de los 100

cm tiene problemas de drenaje porque la tabla de agua en la época lluviosa alcanza a menos de 1 m de profundidad

Tabla 3. Muestra 3

Descripción	cm
Franco arcilloso	0-30
Franco arenoso	30 - 70
Moteadura	40
Franco	70 - 150
Franco arcilloso	150 - 250
Arena	250 -350
Tabla de agua (verano)	265
Franco arcillo arenoso	350 - 395
Arcilla	> 395

Perfil de estratificación de suelo: muestra 3

Descripción del perfil. Muestra 4

El primer estrato es un suelo franco arcilloso, con coloraciones café rojizas, presencia de moteaduras en el cuarto estrato, lo cual indica problemas de

drenaje para este perfil. Capa freática a partir de 2,1 m en la época seca, y evidencias de saturación en la época lluviosa en el segundo estrato.

Tabla 4. Muestra 4

Descripción	cm
Franco Arcilloso	0-50
Franco Arcillo Arenoso	50-120
Franco Areno Limoso	120-180
Franco Arcilloso	180-240
Arcilla, capa impermeable	> 240

Perfil de estratificación de suelo: muestra 4

Se anexan planos con descripción de perfiles y localización. Plano con la actual situación de drenajes.

PRUEBAS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.

Para determinar la conductividad se aplicaron 2 métodos: Campo o método de Auger hole y de laboratorio.

Método del barreno o Auger Hole.

Desarrollado por Diserens en 1934, fue modificado y perfeccionado por varios investigadores, entre ellos Ernst (1957).

Pruebas de conductividad hidráulica:

Prueba conductividad muestra 1 estrato 1

t (seg)	Y' t (cm)	ΔY		
0	179,9		Ref piso	35
2	179,9	0,1	W' =	135,0
4	179,8	0,0	H =	110
6	179,8	0,0		
8	179,7	0,1	$Y_0 = Y'_0 - W'$	44,9
10	179,7	0,0	$\Delta Y = Y'_0 - Y'_{20}$	0,5
12	179,7	0,0	$Y = Y_0 - \frac{1}{2}\Delta Y$	44,65
14	179,6	0,1		
16	179,6	0,0	C =	4,7
18	179,5	0,1	$K = C \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$	0,118
20	179,4	0,1		
		0,5		

Prueba conductividad muestra 1 estrato 2

t (seg)	Y' t (cm)	ΔY		
0	127,5		Referencia	35
10	127,5	0,0	W' =	78,5
20	127,4	0,1	H =	110
30	127,4	0,0		
40	127,3	0,1	$Y_0 = Y'_0 - W'$	49,0
50	127,2	0,1	$\Delta Y = Y'_0 - Y'_{100}$	0,7
60	127,1	0,1	$Y = Y_0 - \frac{1}{2}\Delta Y$	48,65
70	127,0	0,1		
80	126,9	0,1	C =	4,4
90	126,9	0,0	$K = C \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$	0,031
100	126,8	0,1		
		0,7		

Prueba conductividad muestra 2 estrato 1

t (seg)	Y' t (cm)	ΔY		
0	179,9		Ref piso	40
2	179,9	0,0	W' =	135,0
4	179,9	0,0	H =	125
6	179,8	0,0		
8	179,8	0,0	$Y_0 = Y'_0 - W'$	44,9
10	179,8	0,0	$\Delta Y = Y'_0 - Y'_{20}$	0,2
12	179,8	0,0	$Y = Y_0 - \frac{1}{2}\Delta Y$	44,8
14	179,8	0,0		
16	179,7	0,0	C =	4,2
18	179,7	0,0	$K = C \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$	0,042
20	179,7	0,0		
		0,2		

Prueba conductividad muestra 2 estrato 2

t (seg)	Y' t (cm)	ΔY		
0	127,5		Referencia	35
10	124,5	3,0	W' =	78,5
20	121,5	3,0	H =	125
30	118,6	2,9		
40	115,8	2,8	$Y_0 = Y'_0 - W'$	49,0
50	113,0	2,8	$\Delta Y = Y'_0 - Y'_n$	27,5
60	110,3	2,7	$Y = Y_0 - \frac{1}{2}\Delta Y$	35,25
70	107,7	2,6		
80	105,1	2,6	C =	5,2
90	102,5	2,6	$K = C \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$	1,418
100	100,0	2,5		

27,5

Para la determinación de las otras conductividades se empleo el programa SPAW

Conductividad hidráulica:

Muestra 1 (caso: Dren ubicado en el segundo estrato)

K1 = 0.118

PE 1 = 0 - 1,15 m

$K2 = 0.031$

PE 2 = 1,15 - 3,00 m

Muestra 2 (caso: Dren ubicado en el límite de los estratos)

$K1 = 0.042$

PE 1 = 0 - 0,50 m

$K2 = 1.42$

PE 2 = 0,50 - 1,80 m

Muestra 3 (caso: Dren ubicado en el segundo estrato)

$K1 = 0.064$

PE 1 = 0 - 0,30 m

$K2 = 1.006$

PE 2 = 0,30 - 3,50 m

Muestra 4 (caso: Dren ubicado en el límite de los estratos)

$K1 = 0.068$

PE 1 = 0 - 1,20 m

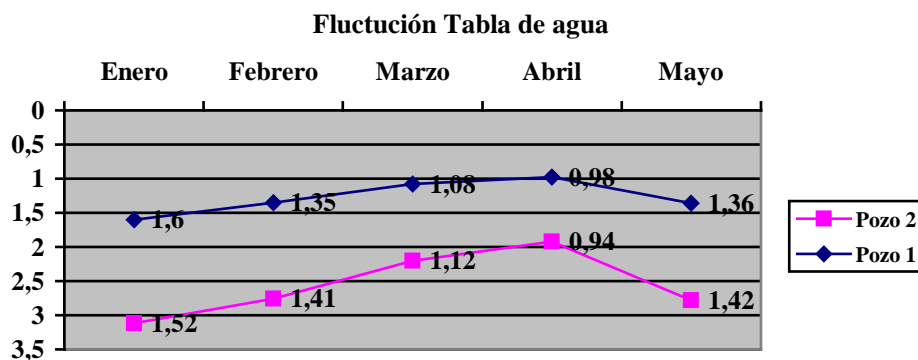
$K2 = 0.34$

PE 2 = 1,20 - 1,80 m

POZOS DE OBSERVACIÓN

LECTURAS DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN.

La lectura de los pozos de observación permitió monitorear la fluctuación de los niveles freáticos:



ANÁLISIS DE DATOS DE PLUVIOMETRÍA.

Para el análisis de los datos se utilizó el método de valores extremos propuesto por Gumbel, modificado por Aparicio (1997).

Realizado el análisis correspondiente se obtuvieron los siguientes resultados:

Número de años analizados: 43 (Datos meteorológicos Est Valdez.)

Sumatoria total: 4711,60 mm/día

Desviación estándar: 31,62 " "

Calculo de la precipitación de diseño.

Media aritmética: ¡Error! Marcador no definido. $\frac{\text{Sumatoria}}{\#\text{Datos}} = \frac{4711,60}{43} = 109,57$

Distribución Gumbel: $X_{\max} = \bar{x} - \frac{\sigma_x}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T)$

Donde:

$\sigma_N = 1.148$

$\bar{Y} = 0,5453$

T = Periodo de retorno en estudio = 10 años

$X_{\max} = 109,57 - \frac{31,62}{1,148} (0,5453 - \ln 10) = 109,57 - 27,544 * (-1.757) =$

157,97 mm/día

Precipitación máxima, para un retorno de 10 años es: **15,8** cm/día

El análisis de los datos pluviométricos se presenta en el **ANEXO 1**

CAUDAL DE DISEÑO.

Calculo de la infiltración potencial.

$$S = \frac{2540}{85} - 25,4 = 4,48 \text{ cm}$$

Calculo de la escorrentía potencial:

$$E = \frac{(15,8 - 0,2 \times 4,48)^2}{(15,8 + 0,8 \times 4,48)} = \frac{14,90^2}{19,38} = 11,46 \text{ cm}$$

Calculo en tiempo de drenaje:

Para el cultivo de banano, Td máximo 24 horas.

Calculo de la Escorrentía 24

$$E_{24} = \frac{24 \times 11,46 \text{ cm}}{24} = 11,46 \text{ cm.}$$

Calculo del coeficiente de drenaje:

$$Cd = 4,57 + 1,62 \times 11,46 \text{ cm} = 23,13$$

Calculo del caudal de diseño:

$$Q = \frac{23,13 \times 22,79^{5/6}}{1000} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL PRINCIPAL.

Actualmente el canal principal posee las siguientes dimensiones:

Talud = 1:1

Base = 0,8 m

Profundidad = 3,6 m

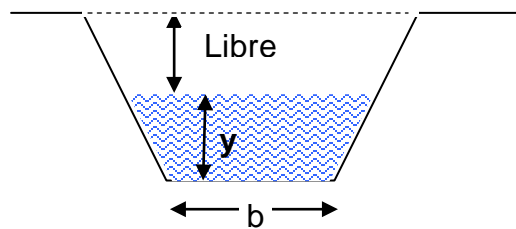
Tirante seco = 2,5 m (mínimo)

Comprobación de las dimensiones del canal.

$$\text{Área} = \frac{Q}{V} = \frac{0,31 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,4 \text{ m/s}} = 0,775 \text{ m}^2$$

$$\text{Tirante} = \frac{\sqrt{b^2 + 4AZ} - b}{2Z} = \frac{\sqrt{0,8^2 + 4 * 0,775 * 1} - 0,8}{2 * 1} = \frac{\sqrt{3,74} - 0,8}{2} = 0,57 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad} = y_{\text{húmedo}} + \text{libre} = 0,57 + 2,5 \text{ m} = 3,07 \text{ m}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL SECUNDARIO.

Actualmente el canal secundario posee las siguientes dimensiones:

Talud = 0,75:1

Base = 0,5 m

Profundidad = 1.8 m

Tirante seco = 1,7 m (mínimo)

Separación = 12 m

Comprobación de las dimensiones del canal secundario

La recarga para la zona = 0,04 m/día ⁶

Profundidad estrato impermeable = 4 m

Profundidad a segundo estrato = 0,80 m

Profundidad del dren = 1.8 m

⁶ Fuente: Dato proporcionado por el Ing. Eduardo Icaza

Profundidad de Tabla de agua = 1,2 m

Tirante = 0,05 m

Plantilla = 0,5 m

Talud = 0,75:1

$K_1 = 0,118$ m/día

$K_2 = 0,031$ m/día

En este caso como la profundidad al segundo estrato es menor que la profundidad del dren, deberá aplicarse la ecuación del dren en el estrato inferior la cual es:

$$h = R \left[\frac{Dv}{K_1} + \frac{h - Dv}{K_2} \right] + \frac{R \times L^2}{8(K_1 D_1 + K_2 D_2)} + R \cdot \frac{L}{\pi K_2} \cdot \ln\left(\frac{Dr}{p}\right)$$

Donde:

$Dv = P2E - PTA = 0,8 - 1,2 = - 0,4$ m

$h = PD - y - PTA = 1.8 - 0.05 - 1,2 = 0,55$ m

L = Espaciamiento de los drenes (m)

R = Recarga de la zona

K_1, K_2 = Conductividades de los estratos superior e inferior (m/día),

D_1 = Mitad del espesor de la tabla de agua en el estrato superior ($Dv/2$),

D_2 = Espesor del segundo estrato (m): PEI - P2E

Dr = Profundidad desde el espejo de agua del dren al estrato impermeable PEI - PD + y.

p = perímetro mojado del dren. (Zanja)

Calculando valores:

$D_2 = PEI - P2E = 4 - 0,8 = 3,2$ m

$Dr = PEI - PD + y = 4 - 1.8 + 0,05 = 2,25$

$p = b + 2 \cdot y \cdot \sqrt{(1 + z^2)} = 0,5 + 2 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{(1 + 0,75^2)} = 0,625$ m

Dividiendo toda la ecuación por la Recarga "R", se transforma en:

$$\frac{h}{R} = \frac{Dv}{K_1} + \frac{h - Dv}{K_2} + \frac{L^2}{8(K_1 D_1 + K_2 D_2)} + \frac{L}{\pi K_2} \cdot \ln\left(\frac{Dr}{p}\right)$$

Ingresando valores:

$$\frac{0,55}{0,04} = \frac{-0,4}{0,014} + \frac{0,75 + 0,4}{0,21} + \frac{L^2}{8(0,014 \times (-0,2) + 0,21 \times 3,2)} + \frac{L}{\pi \times 0,21} \cdot \ln\left(\frac{2,25}{0,625}\right)$$

Realizando operaciones y ordenando en función de "L" resulta:

$$0,187\text{m}^{-2} \times L^2 + 1,94 \times \text{m}^{-1} \times L - 36,845 = 0$$

Determinando el espaciamiento "L" por medio de la ecuación cuadrática:

$$L = \frac{\sqrt{1,94^2 - 4 \times (-36,845) \times 0,187} - 1,94}{2 \times 0,187} = \frac{\sqrt{3,76 + 27,56} - 1,94}{0,374} = 9,78 \text{ m}$$

Para las demás muestras se empleo el programa ESPADREN (ver anexos)

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Al comparar las dimensiones actuales del canal principal de la finca María Auxiliadora, con las obtenidas se observa que esas dimensiones son adecuadas y más bien se aprecia un tanto falta de mantenimiento de los taludes del canal y un mejoramiento de la rasante del mismo.
2. Así mismo si se compara las dimensiones actuales de los canales secundarios, con las obtenidas mediante la fórmula de Ernst se observa que la profundidad actual es menor a la requerida para ese distanciamiento.
3. Los suelos de la zona en estudio presentan un perfil muy estratificado, con capas de suelos arcillosos de baja conductividad hidráulica (0,031) alternados con suelos arenosos o franco arenosos de conductividad mayor (1,42); lo cual provoca una baja permeabilidad de los mismos.
4. La profundidad de la tabla de agua durante la época lluviosa es menor a 1,0 m que junto a la baja permeabilidad de estos suelos provoca un pobre desarrollo radicular lo que incide en bajo desarrollo de la planta de banano y por ende una baja producción.

5. Debido a la presencia de estratos franco arcilloso a limo arcillosos, que poseen baja permeabilidad y ya que la ec., de Hooghoudt no considera la localización del dren con respecto de los estratos en el perfil, sus resultados no son adecuados para suelos que presenten tales condiciones de ubicación del dren, y de estratificación.
6. Los canales del sector de la finca en estudio no permiten una adecuada aireación en la zona radicular, provocando un escaso desarrollo de raíces, por lo que es necesario profundizarlos un poco más.

4.2. RECOMENDACIONES.

De las consideraciones antes indicadas. Se recomienda:

1. Profundizar al menos unos 20 cm a los canales secundarios para permitir una mejor aireación de los suelos de la finca Ma Auxiliadora.
2. Realizar un mantenimiento periódico del canal principal para permitir un mejor escurrimiento de las aguas de drenaje en la finca objeto de estudio.
3. La utilización de la ecuación de Ernst en suelos que presente más de dos estratos o aquellos donde la localización del dren en el perfil, en vez de la ecuación de Hooghoudt.

BIBLIOGRAFÍA.

1. **AIDÁROV, P. et. al. 1984.** El riego. Editorial MIR. Moscú - URSS. Trad Ar. González. La Habana Cuba.
2. **APARICIO, F. 1997.** Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. México - Mx. p 264
3. **BELALCÁZAR, S 1991.** El cultivo del plátano en el trópico. Editorial FERIVA. Colombia. p 75
4. **COLINA, S DE LA. 1997.** “Diseño y manejo de sistemas de drenaje”, In memoria del Simposio Internacional sobre Riego y Drenaje en Banano. Las Mercedes de Guácimo. Limón - CR. pp. 19-22.
5. **GOICOCHEA, J. 1998.** El Drenaje Agrícola Lima - Pe pp 14-20
6. **GRASSI, C. 1991.** Drenaje de tierras agrícolas. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida - Ve. pp 121 -196 y 299 - 300
7. **ILRI (INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND AND RECLAMATION AND IMPROVEMENT, Ho). 1978.** Principios y aplicaciones del drenaje; Teorías del drenaje agrícola y de la esorrentía. Wageningen - Ho. Vol II. pp. 3, 5, 21, 22 y 281.
8. ----- 1978. Principios y aplicaciones del drenaje. Estudio e investigaciones. Wageningen - Ho. Vol. III pp 51 - 55
9. ----- 1978. Principios y aplicaciones del drenaje. Diseño y manejo de sistemas de drenaje. Wageningen - Ho. Vol. IV pp.6 y 7.
10. **INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR 2009** Mapa de la zona Los Palmares. (color) Guayaquil – Ec. Esc .

- 11. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA e HIDROLOGÍA. 2009.**
Base de datos: Precipitación. Estación Valdez. Guayaquil – Ec.
Periodo de registro: 1964 - 2006.
- 12. LINSLEY, R. y FRANZINI, J. 1967.** Ingeniería de los recursos
hidráulicos. Continental. México - Mx. pp 152-153
- 13. - - - - - et. al. 1977.** Hidrología para ingenieros. McGraw-Hill. Bogotá –
Co p 217
- 14. LÓPEZ, P. DE. 1973.** Drenaje agrícola, teoría y bases de cálculo.
Madrid- Es pp 84 – 85.
- 15. MANUAL AGROPECUARIO. 1999.**
- 16. RAZURI, L. 2004.** Modulo de Drenaje superficial. Maestría de Riego y
Drenaje. Guayaquil - Ec. pp 36 - 43
- 17. - - - - - . 2004.** Modulo de Drenaje subsuperficial. Maestría de Riego y
Drenaje. Guayaquil - Ec. pp 1, 75 y 76
- 18. SAXTON, K. 2007.** Soil Water Characteristics (Programa de cómputo).
USDA, Agricultural Research Service. Washington State
University
- 19. SIERRA, L. 1993.** El cultivo del Banano, Producción y Comercio.
Medellín Co. pp 203, 210.
- 20. SOTO, M. 1994.** El cultivo del Banano, Producción y Comercialización:
Planteamiento de una empresa bananera, San José - CR. pp
165 - 172
- 21. - - - - - 2008.** El cultivo del Banano, Producción y Comercialización:
Planteamiento de una empresa bananera. *In* Congreso Acorban
(Guayaquil - Ec). Bananos: Memoria Acorban (1 CD-Rom). pp
330-356. Formato PDF

22. **VALVERDE, E. 1998.** Riego y drenaje. Mimeografiado. EUNED. C Rica.
23. **VILLÓN, M. 2003 Espadren,** Manual de Usuario. Instituto Tecnológico de C. Rica. Cartago – CR. pp 12 – 20.
24. - - - - - s.f. **Hidroesta,** Ayuda del programa. Instituto Tecnológico de C. Rica. Cartago – CR. Formato CHM.

Anexos

ANEXO 1

Libro Excel. Cálculo de precipitación de diseño utilizando la distribución Gumbel

Años	Xi				
1964	68,2				
1965	106,1				
1966	91	Nº Años =	43		
1967	75,6	\bar{x} =	109,57		
1968	86	σ_X =	31,619		
1969	68,4	σ_N =	1,148		
1970	70,3	\bar{Y} =	0,5453		
1971	66,6				
1972	134,1				
1973	122,4				
1974	91				
1975	164				
1976	103,4				
1977	84				
1978	83				
1979	109,3				
1980	114,3				
1981	106,7				
1982	86				
1983	137,1				
1984	111,6				
1985	63,6				
1986	162,1				
1987	148,6				
1988	115,9				
1989	99,2				
1990	103,2				
1991	77,6				
1992	133,1				
1993	92,6				
1994	95,4				
1995	119,4				
1996	130,5				
1997	124				
1998	194,5				
1999	89,5				
2000	111,8				
2001	169				
2002	178				
2003	113,9				
2004	78,7				
2005	112,2				
2006	119,7				

Período de Retorno (Años)	$X = \bar{x} - \frac{\sigma_X}{\sigma_N} (\bar{Y} - \ln T)$
Precipitación	
2	113,64
3	124,81
5	138,88
10	157,97
25	183,21
50	202,30
100	221,39
500	265,72

Nota.- Los datos analizados están expresados en mm/día.

Hoja de cálculo desarrollada por el autor de la presente investigación

Fuente: Datos meteorológicos INAMHI. Estación meteorológica Ingenio Valdez

ANEXO 2

Tabla 1. Valores de Y_N y σ_N en función de N

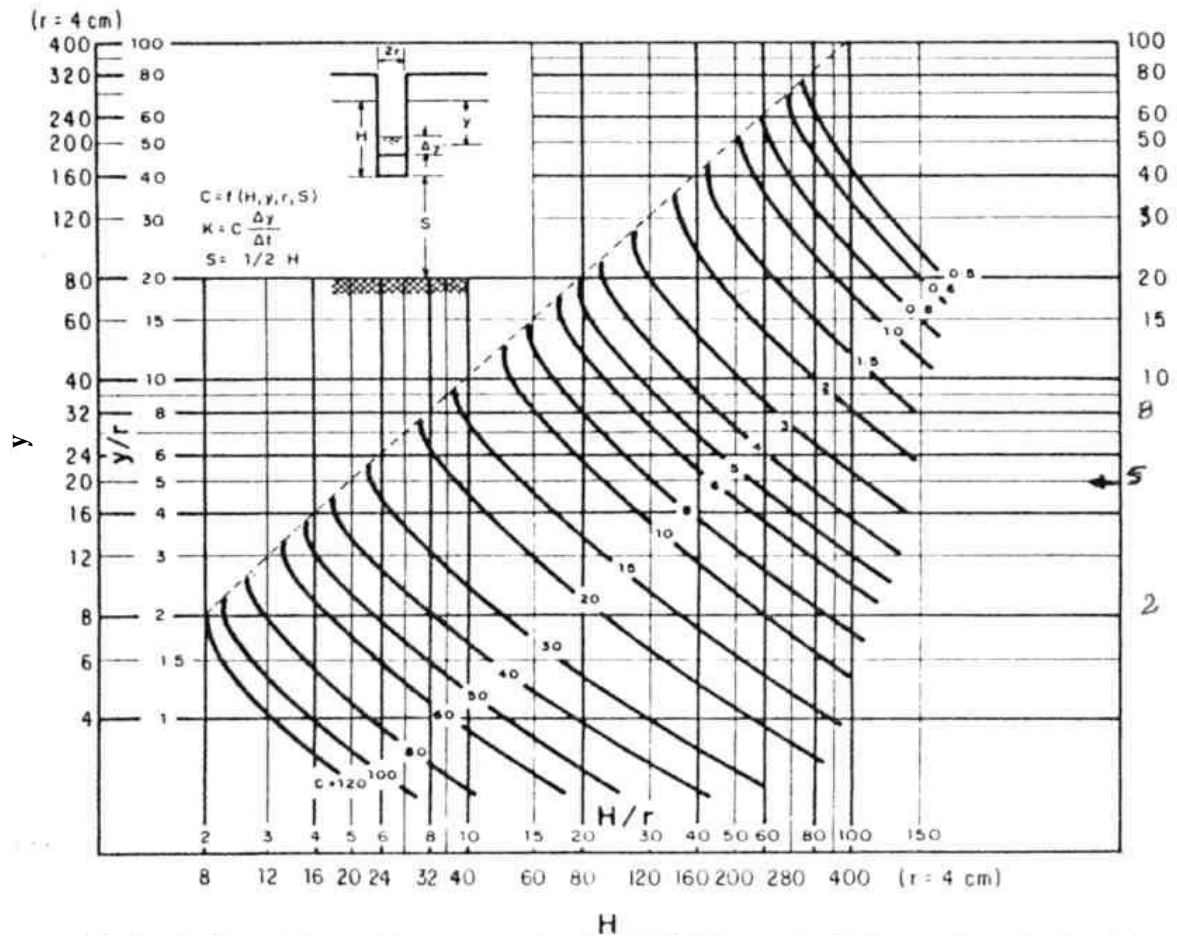
N	Y_N	σ_N		N	Y_N	σ_N
8	0.4843	0.9043		32	0.5380	1.1193
9	0.4902	0.9288		33	0.5388	1.1226
10	0.4952	0.9497		34	0.5396	1.1255
11	0.4996	0.9676		35	0.54034	1.12847
12	0.5053	0.9833		36	0.5410	1.1313
13	0.5070	0.9972		37	0.5418	1.1339
14	0.5100	1.0095		38	0.5424	1.1363
15	0.5128	1.02057		39	0.5430	1.1388
16	0.5157	1.0316		40	0.54362	1.14132
17	0.5181	1.0411		41	0.5442	1.1436
18	0.5202	1.0493		42	0.5448	1.1458
19	0.5220	1.0566		43	0.5453	1.1480
20	0.52355	1.06283		44	0.5458	1.1499
21	0.5252	1.0696		45	0.5463	1.15185
22	0.5268	1.0754		46	0.5468	1.1538
23	0.5283	1.0811		47	0.5473	1.1557
24	0.5296	1.0864		48	0.5477	1.1574
25	0.53086	1.09145		49	0.5481	1.1590
26	0.5320	1.0961		50	0.54854	1.16066
27	0.5332	1.1004		55	0.5504	1.1681
28	0.5343	1.1047		60	0.55208	1.17467
29	0.5353	1.1086		65	0.5535	1.1803
30	0.53622	1.11238		70	0.55477	1.18536
31	0.5371	1.1159		80	0.55688	1.19382

Fuente: Villon, M. Ayuda de programa HidroEsta.

ANEXO 3

Ábaco para determinar C

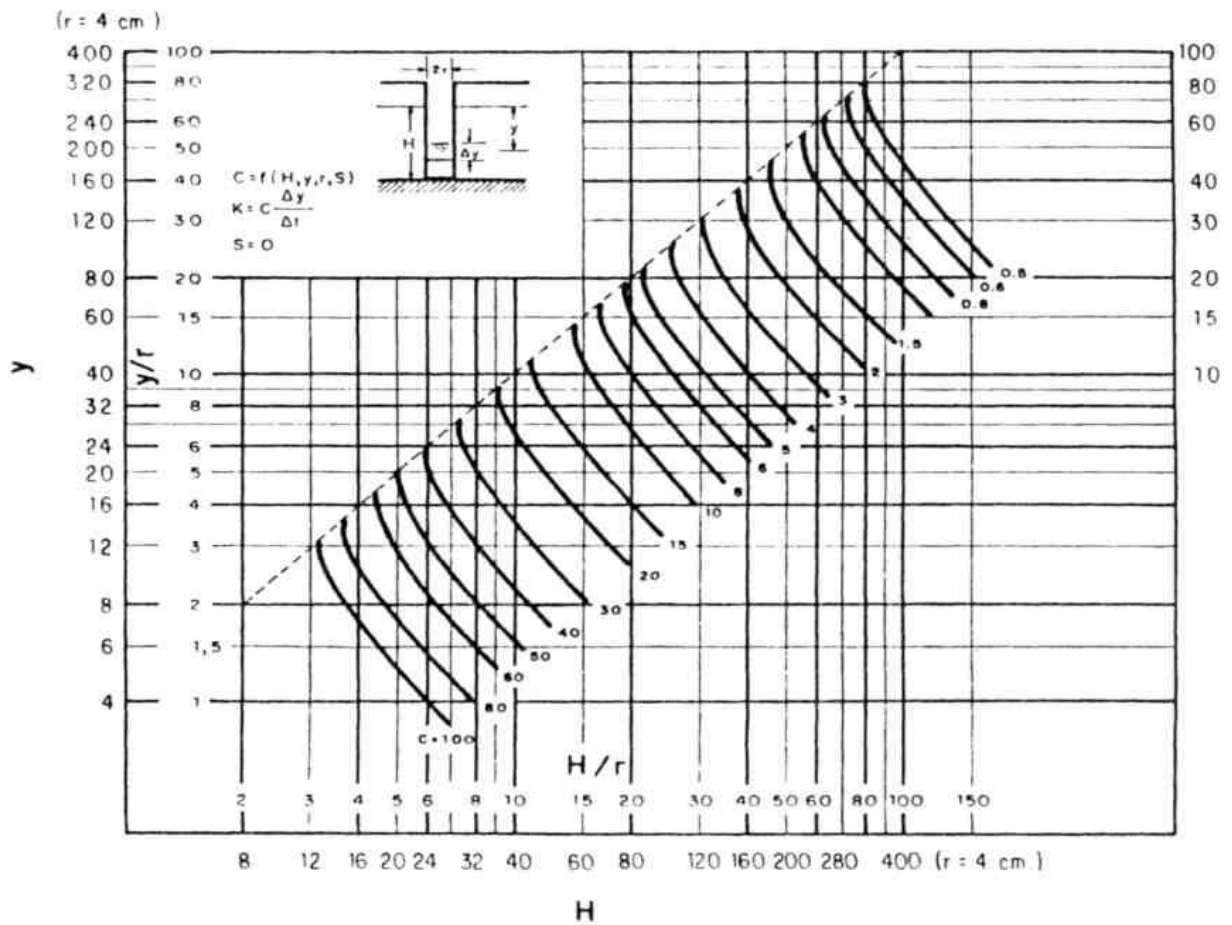
Anexo 3.1. Ábaco para determinar C Ernst 1950. $S \geq H/2$



Fuente: Drenaje Sub superficial. Luís Razuri. Pág 75

Adaptado de Drainage principles and applications

Anexo 3.2. Ábaco para determinar C Ernst 1950. S = 0



Fuente: Drenaje Sub superficial. Luís Razuri. Pág 76

Adaptado de Drainage principles and applications

ANEXO 4

Valores de Curva Número S.C.S.

Tabla 2. Complejos Suelos-Cobertura-Humedad antecedente, para ser utilizada en cálculo de la escorrentía (Condición de humedad II e la = 0,2S)

Cobertura			Grupo de suelos			
Uso de la tierra	Práctica agrícola	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Número de Curva			
Rastrojo	Hileras rectas	--	77	86	91	94
Cultivo en hileras	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
	“ ”	Buena	67	78	85	89
	En curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	“ ”	Buena	65	75	82	86
	En curvas y terrazas	Mala	66	74	80	82
	“ ”	Buena	62	71	78	81
Cultivo en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	“ ”	Buena	63	75	83	87
	En curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	“ ”	Buena	61	73	81	84
	En curvas y terrazas	Mala	61	72	79	82
	“ ”	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras estrechas, o forraje de rotación ¹	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	“ ”	Buena	58	72	81	85
	En curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	“ ”	Buena	55	69	78	83
	En curvas y terrazas	Mala	63	73	80	83
	“ ”	Buena	51	67	76	80
Pasto de pastoreo	--	Mala	68	79	86	89
	--	Regular	49	69	79	84
	--	Buena	39	61	74	80
	curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
	“ ”	Regular	25	59	75	83
	“ ”	Buena	6	35	70	79
Hortalizas, Huertas ²	Cultivos intensivos	--	45	66	77	83
Caña de azúcar ²	Con quema de residuos, HR	--	43	65	77	82
	Sin quema, Hileras rectas	--	45	66	78	83
Pasto de corte	--	Buena	30	58	71	78
Patios	--	--	59	74	82	86

¹ Siembra tupida o al voleo

² Valores obtenidos en Puerto Rico

CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS

Tabla 3. Clasificación de los suelos en A, B, C y D de acuerdo al potencial de escorrentía:

Tipo de suelo	Descripción	Infiltración final
A	Bajo Potencial de escorrentía. Posee la mayor infiltración, son suelos de gran permeabilidad, incluso cuando están saturados, comprendiendo los terrenos profundos, sueltos con predominio de arenas o gravas, y muy poco limo o arcilla. Incluyen loes profundos.	8-12
B	Moderadamente bajo potencial de escorrentía. Incluye suelos con infiltración moderada, cuando están saturados pero presentan moderada permeabilidad. Comprenden terrenos arenosos menos profundos que los anteriores, y a aquellos de textura franco arenosa, y a los francos profundos. Incluyen loes poco profundos.	4-8
C	Moderadamente alto potencial de escorrentía. Incluye suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, porque presentan un estrato impermeable que dificulta la infiltración; o porque se textura es franco arcillosa o arcillo-limosa.	1-4
D	Alto potencial de escorrentía. Son suelos que presentan gran impermeabilidad cuando están saturados, porque presentan un estrato impermeable, o arcilloso, relativamente cerca de la superficie.	<1

Fuente: Razuri. 2004 Modulo de drenaje subsuperficial. Pág 41

La condición hidrológica se refiere al grado de cobertura vegetal y puede ser aproximada de la siguiente manera.

Buena = Cobertura > a 75 % del área. Regular = Cobertura entre 50 a 75 % del área. Mala = Cobertura inferior a 50 %

Los valores de la tabla corresponden a condiciones de humedad del tipo II. Si la tormenta presenta condiciones tipo I o tipo III se utilizan las siguientes fórmulas

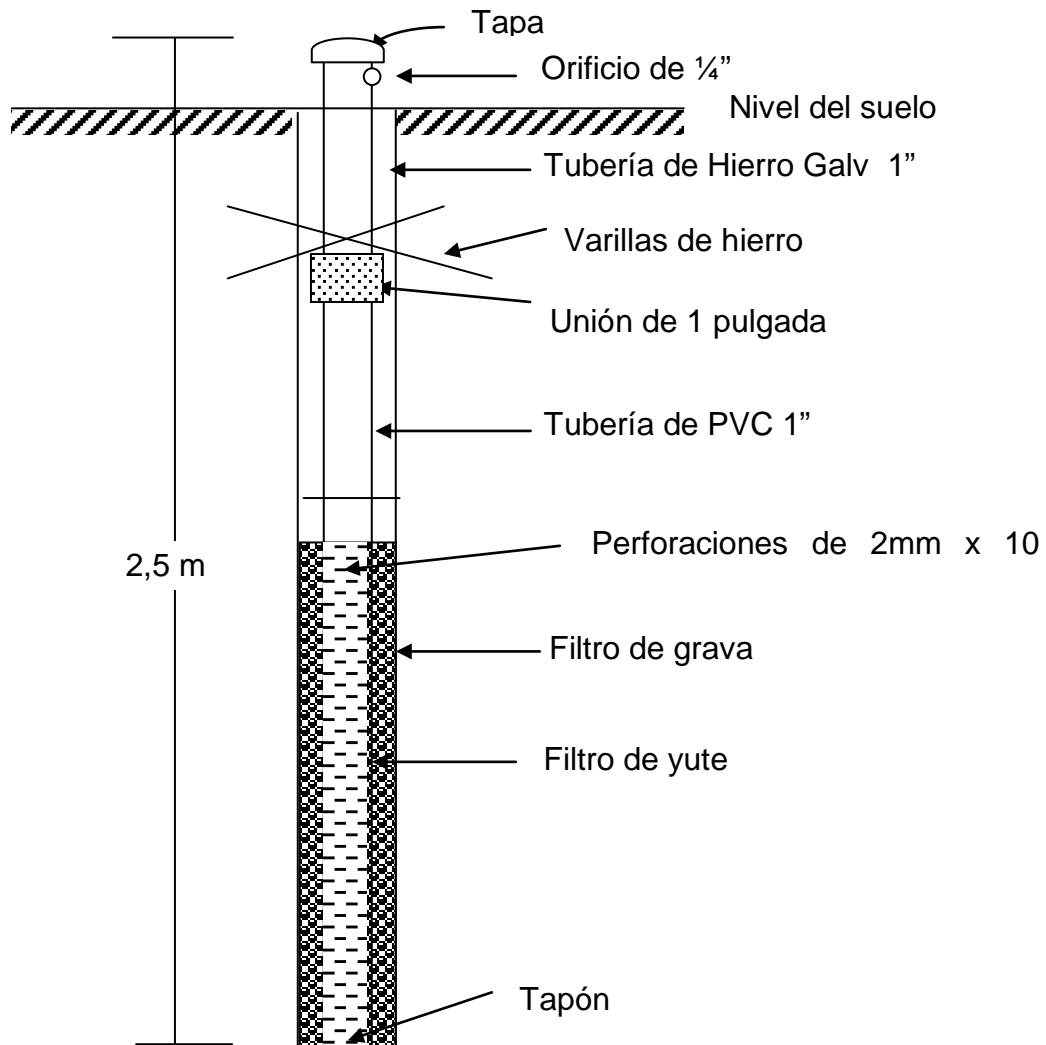
Para tipo I	Para tipo III
$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10 - 0,058CN(II)}$	$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,013CN(II)}$

Condición de humedad antecedente S. C. S.

Condición	Lluvia acumulada en los 5 días antes (mm)	
	Período de latencia	Crecimiento activo
I	< 13	< 34
II	13-28	34-52, 5
III	> 28	> 52,5

ANEXO 5

Detalles de un pozo de observación



ANEXO 6

Calculo del espaciamiento de drenes. Programa ESPADREN.

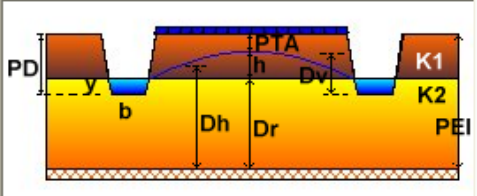
Anexo 6.1.

Calculo del espaciamiento para la muestra 2

Espaciamiento de drenes, método de Ernst, drenes abiertos en el límite de los ...

Datos:

Recarga (R):	0.04	m/día
Profundidad estrato impermeable (PEI):	4	m
Profundidad del dren (PD):	1.8	m
Profundidad de la tabla de agua (PTA):	1.2	m
Conductividad hidráulica estrato superior (K1):	0.042	m/día
Conductividad hidráulica estrato inferior (K2):	1.42	m/día
Tirante (y):	0.1	m
Ancho de solera (b):	0.5	m
Talud (Z):	0.75	



Resultados:

Espaciamiento entre drenes (L):	1.85	m
Pérdida de carga vertical (hv):	0.4762	m
Pérdida de carga horizontal (hh):	0.0052	m
Pérdida de carga radial (hr):	0.0186	m
Pérdida de carga total (h):	0.5000	m

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal

Fuente: Villon, M. Programa ESPADREN

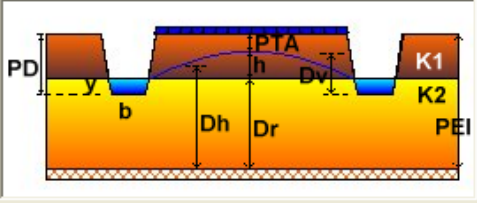
Anexo 6.3.

Calculo del espaciamiento para la muestra 3

Espaciamiento de drenes, método de Ernst, drenes abiertos en el límite de los ...

Datos:

Recarga (R):	<input type="text" value="0.04"/>	m/día
Profundidad estrato impermeable (PEI):	<input type="text" value="4"/>	m
Profundidad del dren (PD):	<input type="text" value="1.8"/>	m
Profundidad de la tabla de agua (PTA):	<input type="text" value="1.2"/>	m
Conductividad hidráulica estrato superior (K1):	<input type="text" value="0.068"/>	m/día
Conductividad hidráulica estrato inferior (K2):	<input type="text" value="0.34"/>	m/día
Tirante (y):	<input type="text" value="0.1"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.75"/>	



Resultados:

Espaciamiento entre drenes (L):	<input type="text" value="3.27"/>	m
Pérdida de carga vertical (hv):	<input type="text" value="0.2941"/>	m
Pérdida de carga horizontal (hh):	<input type="text" value="0.0685"/>	m
Pérdida de carga radial (hr):	<input type="text" value="0.1374"/>	m
Pérdida de carga total (h):	<input type="text" value="0.5000"/>	m

Calculador Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal

Fuente: Villon, M. Programa ESPADREN

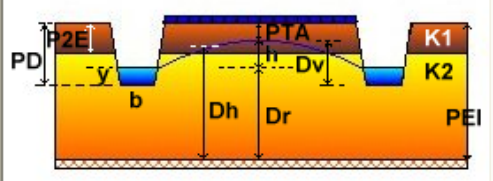
Anexo 6.4.

Calculo del espaciamiento para la muestra 4

Espaciamiento entre drenes, método de Ernst, drenes abiertos en el estrato inf...

Datos:

Recarga (R):	<input type="text" value="0.04"/>	m/día
Profundidad estrato impermeable (PEI):	<input type="text" value="4"/>	m
Profundidad segundo estrato (P2E):	<input type="text" value="1.2"/>	m
Profundidad del dren (PD):	<input type="text" value="1.8"/>	m
Profundidad de la tabla de agua (PTA):	<input type="text" value="1.2"/>	m
Conductividad hidráulica estrato superior (K1):	<input type="text" value="0.064"/>	m/día
Conductividad hidráulica estrato inferior (K2):	<input type="text" value="1.006"/>	m/día
Tirante (y):	<input type="text" value="0.1"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.75"/>	



Resultados:

Espaciamiento entre drenes (L):	<input type="text" value="12.93"/>	m
Pérdida de carga vertical (hv):	<input type="text" value="0.0199"/>	m
Pérdida de carga horizontal (hh):	<input type="text" value="0.2967"/>	m
Pérdida de carga radial (hr):	<input type="text" value="0.1834"/>	m
Pérdida de carga total (h):	<input type="text" value="0.5000"/>	m

Calculador Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal

Fuente: Villon, M. Programa ESPADREN

ANEXO 5

Anexo 10 a. Fotografía Mostrando un pozo Auger Hole. Prueba de conductividad.



Fuente. Autor de la investigación.

Ubicación: Finca Ma. Auxiliadora. Mariscal Sucre. Prov Guayas.

Anexo 6

Anexo 6 a. Fotografía mostrada la presencia de moteaduras. Muestra 2



Fuente. Autor de la investigación.

Ubicación: Finca Ma. Auxiliadora. Mariscal Sucre. Prov Guayas.

Anexo 6 b. Fotografía mostrando la presencia de moteaduras. Muestra 3

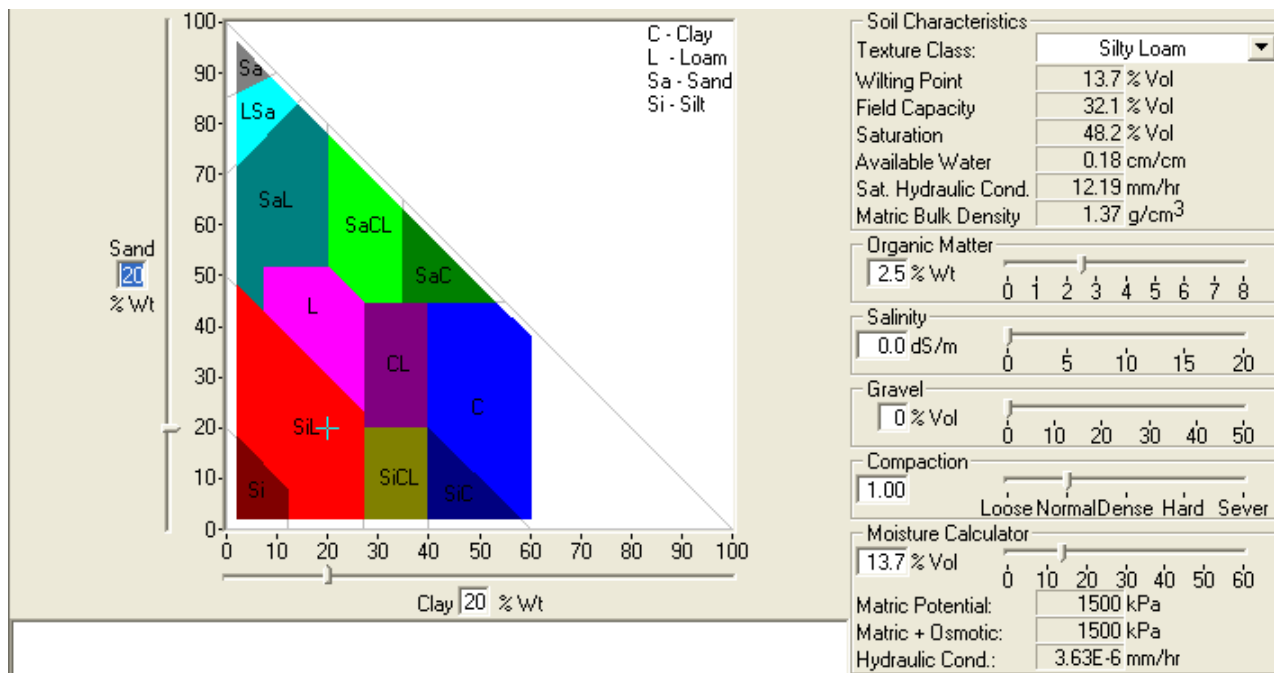


Fuente. Autor de la investigación.

Ubicación: Finca Ma Auxiliadora. Mariscal Sucre. Prov Guayas.

ANEXO 7

Imagen sobre la ventana del programa Soil Water Characteristic; para la determinación de la Conductividad Hidráulica.



Fuente: Keith Saxton. USDA en colaboración con Washington State University.

Programa SPAW Versión: 6.02.074

El presente trabajo de investigación fue realizado por Ing. Agr. Víctor Pazos Roldán.

Babahoyo Ecuador. Maestría en Riego y Drenaje. 2005