



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE, EMPLEANDO LA ECUACIÓN
DE ERNST PARA EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA - EL ORO

CUENCA YAGUANA EMERSON VICTOR
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE, EMPLEANDO LA
ECUACIÓN DE ERNST PARA EL CULTIVO DE BANANO,
MACHALA - EL ORO

CUENCA YAGUANA EMERSON VICTOR
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE, EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE ERNST
PARA EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA - EL ORO

CUENCA YAGUANA EMERSON VICTOR
INGENIERO AGRÓNOMO

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

MACHALA, 17 DE MARZO DE 2020

MACHALA
2020

Diseño de un sistema de drenaje empleando la ecuación de Ernst para el cultivo de banano, Machala El Oro

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

es.scribd.com

Fuente de Internet

1%

2

fr.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

3

[Submitted to Universidad Cesar Vallejo](#)

Trabajo del estudiante

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 50 words

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, CUENCA YAGUANA EMERSON VICTOR, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE, EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE ERNST PARA EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA - EL ORO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

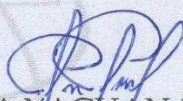
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 17 de marzo de 2020



CUENCA YAGUANA EMERSON VICTOR
0750318750

UNIVERSITAS
MAGISTRORUM
ET SCHOLARUM

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis padres Sr. Vicente Marcolino Cuenca Cueva y Sra. Daysi Marilú Yaguana García y mis hermanos Andrea Karina Yaguana García, Sonia Emperatriz Asunción Yaguana, Diana del Carmen Yaguana Camacho y Jhon Andrés Cuenca Yaguana quienes con su apoyo incondicional han sido parte fundamental de este logro.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Machala por acogerme como estudiante y haberme formado como profesional.

Al Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo PhD por la dirección del presente trabajo de investigación y por todas las enseñadas dadas en mi carrera universitaria.

Al Ing. Salomón Barrezueta PhD y al Ing. Jaramillo quienes formaron parte del grupo de trabajo.

A mis amigos Miguel Quezada, Edison Cueva, por su ayuda brindada en todas las etapas de este trabajo de investigación.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en este proyecto.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE, EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE ERNST PARA EL CULTIVO DE BANANO, MACHALA- EL ORO

Autor

Emerson Víctor Cuenca Yaguana

Especialista

Ing. Agric. Julio Enrique Chabla Carrillo Mg.Sc.; Phd

Resumen

El presente trabajo de investigación es fundamental porque en la zona objeto de estudio no se reporta información técnica de las dimensiones y espaciamiento adecuado en un sistema de drenaje abiertos (zanjas). El drenaje agrícola es importante porque ayuda a evacuar el exceso de agua superficial como subterránea provocada por riego o intensa precipitación al igual que también permite controlar la salinidad del suelo y tener una buena aeración alcanzando un mejor desarrollo de las raíces de banano que se encuentran en la superficie del terreno. Su realización tiene como objetivo utilizar la fórmula de Ernst para el cálculo de este sistema, permitiendo determinar de mejor manera la dimensiones y espaciamiento de los drenes, debido a que esta fórmula es la más actualizada comparada con la de Hooghoudt con la que se a diseñada la mayoría de los drenajes en los cultivos de banano. El proyecto se lo realizo en la bananera de la Granja “Santa Inés” ubicada en la Universidad Técnica de Machala de la provincia de El Oro, para comenzar este trabajo de investigación se tomaron datos del nivel freático del terreno durante dos meses, cada 15 días y si se producía precipitación se registraban los datos de 3 días seguidos después de la lluvia, para este proceso se instalaron previamente 15 piezómetros, tubos galvanizados de media pulgada y de una longitud de 3 metros, distribuidos de manera aleatoria en toda la zona de estudio con ayuda del AutoCAD 2017 y GPS. Se realizó un estudio hidrológico de la zona para conocer la precipitación máxima en 24 horas de 21 años, obteniendo esos datos de la estación meteorológica Granja “Santa Inés” de la página INAMHI, para este estudio se utilizó el método de Gumbel o también llamado distribución Gumbel, se elaboró un mapa de isohypsas que parte de un plano topográfico en donde se encuentran los piezómetros y anotando la carga hidrostática de cada punto y con los valores de la capa freática con respecto a la superficie del terreno se elaboró mapas de isobatas. Para el cálculo de la conductividad hidráulica del suelo se utilizó el método de Auger Hole y para la determinación de las propiedades físicas del suelo, como color del suelo, la clase textural, porcentaje de porosidad,

densidad real, se tomaron los valores registrados por Shirley Melania Mateo Fernández que realizó su trabajo de investigación de “Evaluación de la degradación de suelos en dos agroecosistemas de la Granja “Santa Inés”. En los meses analizados y con los resultados obtenidos utilizando la fórmula de Ernst se pudo lograr identificar que las dimensiones y el espaciamiento de los sistemas de drenaje de la zona de estudio son similares a los que ya están instalados en el terreno y más bien se necesita darle mantenimiento a los sistemas de drenaje, al igual se pudo identificar donde el nivel freático está más elevado a la superficie del suelo, que el terreno es de topografía plana y pocas curvas de nivel, y que es una zona de poca precipitación.

Palabras claves: Drenaje agrícola, nivel freático, carga hidrostática y piezómetros.

DESIGN OF A DRAIN SYSTEM, EMPLOYING ERNST'S EQUATION FOR BANANO'S CULTIVE, MACHALA-EL ORO

Author

Emerson Victor Cuenca Yaguana

Specialist

Ing. Agric. Julio Enrique Chabla Carrillo Mg.Sc.; Phd

Summary

This research work is essential because technical information on dimensions and appropriate spacing is not reported in an open drainage system (ditches) in the area under study. Agricultural drainage is important because it helps to evacuate excess surface water as underground caused by irrigation or intense precipitation as well as also allows to control the salinity of the soil and have a good aeration reaching a better development of banana roots found on the surface of the ground. Its realization aims to use Ernst's formula for the calculation of this system, allowing to better determine the dimensions and spacing of the drains, because this formula is the most up-to-date compared to Hooghoudt's with which to designed most drains on banana crops. The project was carried out in the banana house of the Farm "Santa Inés" located at the Technical University of Machala in the province of El Oro, to begin this research work data were taken of the ground ground ground for two months, every 15 days and if it was produced precipitation was recorded data for 3 days in a row after the rain, for this process 15 piezometers were previously installed, galvanized tubes of half an inch and of a length of 3 meters, randomly distributed throughout the study area with Support of AutoCAD 2017 and GPS. A hydrological study of the area was carried out to know the maximum precipitation in 24 hours of 21 years, obtaining this data from the weather station Granja "Santa Inés" from the page INAMHI, for this study the Gumbel method was used or also called called Gumbel distribution, a map of isohypsas was drawn up from a topographical plane where the piezometers are located and annotating the hydrostatic load of each point and with the values of the water table with respect to the surface of the terrain were drawn maps of isobatas. For the calculation of the hydraulic conductivity of the soil the Auger Hole method was used and for the determination of the physical properties of the soil, such as soil color, textural class, percentage of porosity, actual density, the values recorded by Shirley Melania Mateo Fernandez who carried out her research work "Assessment of soil degradation in two agro-ecosystems of the "Santa Inés" Farm. In the months analyzed and with the results obtained using the Ernst

formula it was possible to identify that the dimensions and spacing of drainage systems in the study area are similar to those already installed on the ground and rather needed Maintenance of drainage systems, as well as being able to identify where the water table is higher to the ground surface, that the terrain is flat topography and few contours, and that it is a low precipitation area.

Keywords: Agricultural drainage, water table, hydrostatic load and piezometers.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. El sistema suelo	14
2.2. Agua freática y capa freática	14
2.3. Drenaje agrícola	16
2.4. Sistemas y tipos de drenaje	17
2.4.1. Sistemas de drenaje.....	17
2.4.2. Tipos de drenaje.....	17
2.5. Pozos de observación de la capa freática	18
2.6. Piezómetros.....	19
2.7. Medida del nivel freático y piezométrico	20
2.8. Hidrógrafos.....	21
2.9. Mapas freáticos	22
2.9.1. Mapa de isohypsas	22
2.9.2. Mapa de isobatas.....	22
2.9.3. Mapa de variaciones de nivel	22
2.10. Interpretación y aplicaciones de los mapas freáticos.....	23
2.10.1. Dirección del flujo freático	23
2.10.2. Gradiente hidráulico.....	23
2.11. Movimiento del agua hacia los drenes.....	23
2.12. Régimen permanente	23
2.12.1. Formula de Ernst	24
2.13. Régimen Variable o no permanente	25
2.13.1. Formula de Glover – Dumm	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Localización	28
3.2. Ubicación geográfica.....	28
3.3. Características del lugar de estudio (clima y suelo).....	29
3.4. Tipo y Método de investigación	29
3.5. Equipos y Materiales	29

3.6.	Metodología del trabajo de investigación	29
3.6.1.	Levantamiento topográfico	29
3.6.2.	Estudio topográfico	30
3.6.3.	Estudios de las características físicas del suelo.....	31
3.6.4.	Estudio Hidrológico	31
3.6.5.	Estudio del Nivel Freático	31
3.6.6.	Instalación de los piezómetros	32
3.6.7.	Elaboración de Mapas Freáticos	32
3.6.8.	Cálculo de la conductividad Hidráulica	32
3.6.9.	Cálculo de caudal de diseño y dimensiones del canal principal.....	33
3.6.10.	Cálculo de espaciamiento entre drenes empleando la Formula de Ernst	37
3.6.11.	Cálculo de espaciamiento entre drenes en el programa ESPADREN.....	38
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1.	Estudio de las propiedades físico del suelo	39
4.2.	Prueba de conductividad hidráulica	39
4.2.1.	Método de Auger Hole.....	39
4.3.	Piezómetros.....	40
4.3.1.	Datos de profundidad de nivel freático	40
4.4.	Elaboración de mapas freáticos	41
4.5.	Calculo de precipitación de diseño y análisis de pluviometría.....	43
4.6.	Cálculo de caudal de diseño y dimensiones del canal principal.....	43
4.7.	Cálculo de espaciamiento entre drenes empleando la fórmula de Ernst	44
4.8.	Calculo de espaciamiento entre dren en el programa de ESPADREN	45
5.	CONCLUSIONES.....	46
6.	RECOMENDACIONES.....	47
7.	BIBLIOGRAFIA.....	48
8.	ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zona saturada, Zona capilar y Zona no saturada de un perfil de suelo.....	16
Figura 2: Esquema de un sistema de drenaje subterráneo (Villon, 2007).	17
Figura 3: Sistemas de drenaje de zanjas abiertas (Villon, 2007).....	18
Figura 4: Sistema de drenaje subterráneo (Villon, 2007).....	18
Figura 5: Diagrama de un pozo para la observación del nivel freático (Velásquez, 2016)....	19
Figura 6: Piezómetro (Gallupe, 2018).	20
Figura 7: Sonda eléctrica (Bonifazi et al., 2019).	21
Figura 8: Representación gráfica de Hidrógrafos (Rivas, 2017).	21
Figura 9: Régimen permanente (Hoyos, 2018).	24
Figura 10: Geometría de la ecuación de Ernst (Villon, 2007).....	25
Figura 11: Régimen variable.(Hoyos, 2018)	26
Figura 12: Ubicación de la zona de estudio.....	28
Figura 13: Ubicación y coordenadas de los pozos de observación	30
Figura 14: Triangulo de Bouyoucos (FAO, 2009).	31
Figura 15: Geometría del cálculo de la conductividad hidráulica (Roldán, 2010).....	33
Figura 16: Programa EPADREN.....	38
Figura 17: Fluctuación de Tabla de agua.....	40
Figura 18: Mapa de Isohypsas	41
Figura 19: Mapa de Isobatas.....	41
Figura 20: Mapa de isohypsas y trazado de las líneas de flujo.....	42
Figura 21: Mapa de diseño del sistema de drenaje	42
Figura 22: Espaciamiento entre drenes.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos climatológicos de la zona de estudio.....	29
Tabla 2: Equipos y materiales utilizados en la investigación	29
Tabla 3: Dimensiones actuales del canal principal	36
Tabla 4: Datos para la aplicación de la fórmula de Ernst	37
Tabla 5: Propiedades físicas del suelo	39
Tabla 6: Conductividad hidráulica del suelo	40
Tabla 7: Análisis de pluviometría y cálculo de precipitación de diseño	43
Tabla 8: Dimensiones del canal principal.....	44
Tabla 9: Espaciamiento entre drenes	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cálculo de precipitación de diseño utilizando la distribución Gumbel	51
Anexo 2: Valores de Y_N y σ_N en función de N.	52
Anexo 3: Complejos Suelos-Cobertura-Humedad antecedente, para ser utilizada en cálculo de la escorrentía (Condición de humedad II e $I_a = 0,2S$).	53
Anexo 4: Clasificación de los suelos A, B, C, D de acuerdo al potencial de escorrentía	54
Anexo 5: Cálculo para determinar la conductividad hidráulica en una muestra de suelo por el método de Auger hole en el estrato 1 y 2.....	55
Anexo 6: Levantamiento del perímetro de la zona de estudio con GPS	56
Anexo 7: Levantamiento altimétrico con Nivel	56
Anexo 8: Pozo de observación	57
Anexo 9: Limpieza de los pozos con una bomba manual	57
Anexo 10: Levantamiento cartográfico de la zona de estudio	58
Anexo 11: Abaco para determinar C si $S > H$	58
Anexo 12: Abaco para determinar C si $S = 0$	59

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país Ecuador existen problemas de drenajes, en algunas zonas por el exceso de lluvia además de una alta intensidad, esta situación conlleva a instalar sistemas de drenajes que ayuden a evacuar el exceso de agua. En algunas épocas del año el nivel freático ascienden, en determinados casos hasta la superficie del suelo, en estas situaciones se recomienda hacer un manejo adecuado de régimen de humedad del suelo mediante riego y drenaje (Castillo & Saucedo, 2018).

Los drenajes agrícolas permiten que el suelo esté en condiciones óptimas para la plantación de un cultivo teniendo una mejor productividad, también ayuda a combatir enfermedades que se desarrollan en suelos húmedos. La importancia del drenaje agrícola se enfoca en la eliminación de sales y exceso de agua que se puede dar por riego o por la constante precipitación (Namuche et al., 2017).

Para la implementación de un drenaje agrícola en algunos lugares se debe tener en cuenta ciertos estudios sobre el suelo que se va a realizar el sistema de drenaje: la clasificación de los suelos, levantamiento topográfico, determinación de nivel freático y la determinación de ciertas constantes hídricas del suelo.

Basándose en los principios de flujo de agua subterránea, diversos investigadores han desarrollado métodos con ecuaciones de cálculo de espaciamiento. Las fórmulas de drenaje se agrupan en dos clases: régimen permanente o estacionario y régimen variable o no permanente.

Conocer la conductividad hidráulica en el suelo es de suma importancia para determinar el distanciamiento, profundidad y tamaño apropiadas de los drenajes, el funcionamiento de los drenes depende de la capacidad de transmitir agua (Castiglioni, 2016).

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar un sistema de drenajes mediante drenes abiertos para el cultivo de banano en la Granja Santa Inés ubicado en la Universidad Técnica de Machala

Objetivos Específicos

- Establecer las dimensiones y distancias favorables para drenes abiertos en el cultivo de banano en la Granja Santa Inés
- Precisar las líneas de flujo mediante el mapa de las isohypsas
- Determinar el nivel freático óptimo en el tiempo de drenaje que el cultivo de banano requiere en la Granja Santa Inés.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El sistema suelo

El suelo está conformado por pequeñas partículas sólidas de diferentes formas y tamaños, las cuales se encuentran clasificadas de acuerdo a su diámetro: arena, limo y arcilla. Estas fracciones tienen diámetros equivalentes a los siguientes: 2.0 – 0.02, 0.02 – 0.002 y menores de 0.002 mm respectivamente. Las proporciones de estas tres fracciones que contiene el suelo determinan su textura (Guevara et al., 2015).

El drenaje tiene como finalidad resolver los problemas de exceso de agua provocada por la lluvia o por el sobrante de riego previniendo inundaciones y nos ayuda a controlar el nivel freático, y así tener condiciones adecuadas de aeración y actividad biológica en el suelo. También nos ayuda a la eliminación de sales del suelo, teniendo un adecuado balance salino para el cultivo (Flores & Ruiz, 1998).

Un mal drenaje en el suelo agrícola tiene como consecuencia la reducción o eliminación del espacio aireado del suelo, provocando de esta manera que el oxígeno atmosférico no entre hacia las raíces, que son indispensable para sus funciones de crecimiento y respiración. Bajo tales circunstancias se limita el intercambio gaseoso al no permitir la salida de bióxido de carbono (CO₂), provocando la muerte de la planta por asfixia (Zavala et al., 2004).

Otro autor indica que un inadecuado sistema de drenaje evoluciona debido al incremento del manto freático, reduce los minerales del suelo y los cultivos 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 (Reyes & Pérez, 2016).

2.2. Agua freática y capa freática

La capa freática de un terreno es variable debido a la lluvia y el riego, puede afectar el desarrollo de los cultivos, el tráfico de maquinaria y la salinidad del suelo. El agua se retiene en el suelo si este mismo tiene poco contenido de humedad no permite que el agua se infiltre a una mayor profundidad hasta que el terreno llegue a capacidad de campo. En este caso actúan dos fenómenos de efecto opuestos que son los que aportan agua al suelo (lluvia y riego), y por otro lado la evaporación y transpiración que ayuda a disminuir la humedad del suelo (Vázquez et al., 2017).

La combinación de factores naturales y antrópicos inciden en los niveles freáticos y generan inconvenientes de distintas índole e intensidad (Bianchi & Nicuesa, 2016).

La elevación del manto freático causado por el riego o debido a la proximidad de una zona agroecológica a un río y las precipitaciones pueden generar una acumulación de sales en el suelo ocasionando problemas de fitotoxicidad a los cultivos transformándose en una barrera para el crecimiento de las raíces y restringirlas a un volumen de suelo más pequeño (Combatt et al., 2015).

Si se estudia un perfil de suelo, se encuentra las tres zonas siguientes:

Zona saturada

Es la zona donde comprende desde el nivel freático, hasta el límite superior del acuífero, es la zona más profunda, donde todos los poros están cubiertos por el agua. Si se permitiera que el suelo saturado se drene independientemente el agua empezara a descender a esta agua se le llama agua libre o gravitacional, no es retenida por el suelo (Espinosa, 2017).

Zona capilar

Esta zona se sitúa por encima de la capa freática, esto se debe por la capilaridad, el agua freática de la zona saturada se eleva por encima de la capa freática. El contenido de humedad del suelo disminuye cuando aumenta la distancia a la capa freática, hasta alcanzar la distancia crítica, punto en que se detiene el movimiento capilar (Ramón & Ortega, 2017).

Zona no saturada

También se le denomina zona de aireación, se extiende desde el límite superior de la zona capilar hasta la superficie del suelo. Los poros están ocupados por aire y agua. El contenido de húmeda en esta zona es muy variable. En época seca puede llegar a descender por debajo del punto de marchitez y en época de lluvia o alta frecuencia de riego alcanza la saturación temporalmente como se muestra en la figura 1 (Dietrich et al., 2016).



Figura 1: Zona saturada, Zona capilar y Zona no saturada de un perfil de suelo

Fuente: <https://www.slideserve.com/hakan/cap-tulo-6-infiltraci-n>

2.3. Drenaje agrícola

Namuche et al., (2017) expresa que, el drenaje de tierras agrícolas se encarga de la eliminación de exceso de agua y sales del suelo de una forma que permita el desarrollo adecuado de la planta. Un apropiado control de salinidad y la alcalinidad solo se lo puede ejercer en suelos que tengan buenos drenajes. En un terreno bien drenado el agua debe ser capaz de trasladarse por la superficie del suelo para mover el exceso de sales de la zona de raíz.

Para Chávez y Fuentes, (2016) los drenajes agrícolas nos permiten controlar el nivel freático y disminuir la salinidad del suelo, con el fin de mantener las condiciones adecuadas de aireación y actividad biológica del mismo, para que los cultivos sembrados puedan desarrollar los procesos de crecimiento de su sistema radicular.

El drenaje agrícola es un factor de vital importancia en el desarrollo de la agricultura, en algunas situaciones es olvidado debido a su alto costo de ejecución. Se puede encontrar varios tipos de tecnología de drenaje cada una de ellas se acopla al problema en cada zona y siempre depende del exceso de humedad. La mayoría de veces de los problemas de mal drenaje se deben a la combinación de exceso de precipitación, superficie plana y suelos de poca infiltración (González et al., 2018).

2.4. Sistemas y tipos de drenaje

2.4.1. Sistemas de drenaje

Para diseñar un sistema de drenaje se tiene que tener en cuenta los siguientes parámetros como es la profundidad del dren, el distanciamiento, dimensiones de las zanjas; existen otros parámetros para poder diseñar como es el: nivel freático de la zona, la conductividad hidráulica, la micro porosidad del suelo, coeficiente de drenaje, el tiempo máximo que se debe drenar en función del cultivo (Saucedo et al., 2002).

Existen drenajes primarios, que se encarga de transportar el agua fuera del área cultivada; los drenes secundarios tienen como misión de recoger el agua de los drenes de las parcelas y desembocarla a los drenes principales; y por ultimo tenemos los drenes de parcela o laterales o también llamados terciarios como se observa en la (Figura 3), por lo general son paralelos son los que se encargan de controlar la profundidad de la tabla de agua, con el objetivo de proporcionar a los cultivos un suelo adecuado para su desarrollo (Villon, 2007).

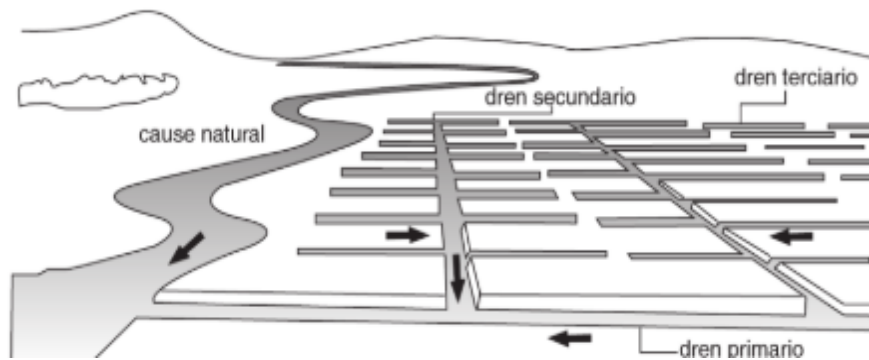


Figura 2: Esquema de un sistema de drenaje subterráneo (Villon, 2007).

2.4.2. Tipos de drenaje

Los tipos de drenaje por su construcción, pueden ser de dos clases.

Zanjas abiertas

Se encargan de controlar el drenaje superficial y subterráneo. En el drenaje subterráneo, las zanjas abiertas quedan sobre diseñadas para el caudal que se necesita evacuar, debido a que el dren se debe profundizar, a un valor más mayor que el tirante requerido con el fin de controlar el nivel freático (Santander, 2017).

Tuberías enterradas

Se encargan de dejar pasar el agua a través de perforaciones o por las uniones de cada dos drenes. Se estima que en todos los cálculos de las formulas, se supone que el tirante de agua en las tuberías es de 50% de diámetro, esto quiere decir que el agua llena la mitad de la tubería. En drenajes subterráneos es indispensable conocer la textura, pendiente, permeabilidad y presencia de estratos (Santander, 2017).



Figura 3: Sistemas de drenaje de zanjas abiertas (Villon, 2007).



Figura 4: Sistema de drenaje subterráneo (Villon, 2007).

2.5. Pozos de observación de la capa freática

Para observar la profundidad del nivel freático se puede abrir un pozo de observación figura 5, para el sector agronómico es importante conocer la capa freática de la zona con el objetivo de sugerir mejores y adecuados sistemas de drenajes y diseños de campo.

Es importante implantar pozos de observación en la agricultura a una profundidad de 1,8 a 2 metros. Para saber a qué altura se encuentra el nivel freático, es preferible instalar varios pozos de observación que cubra toda el área interesada, y así tener una mejor toma de datos de toda la zona (Velásquez, 2016).

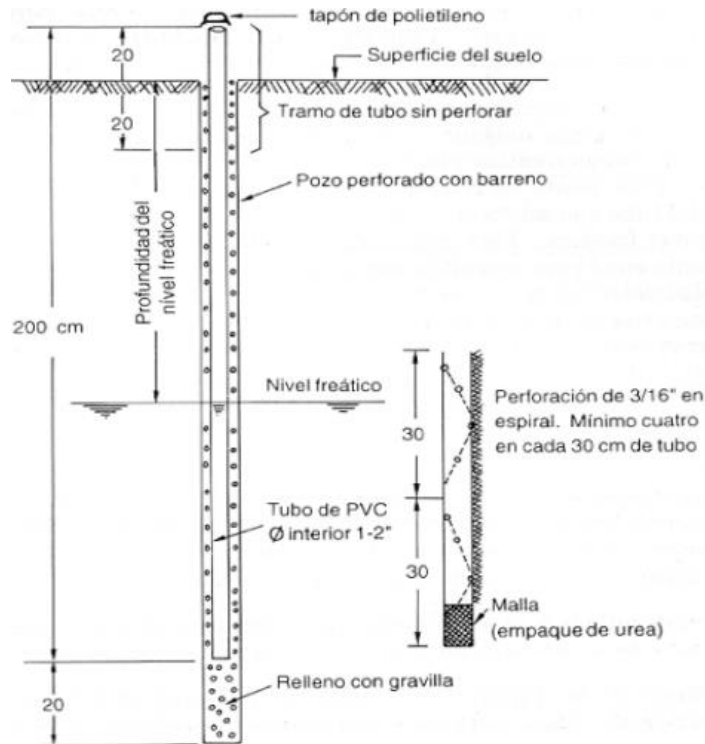


Figura 5: Diagrama de un pozo para la observación del nivel freático (Velásquez, 2016).

2.6. Piezómetros

La instalación de un piezómetro puede ser múltiple en una sola perforación, debido a que tienen varios propósitos, como la observación de uno o varios acuíferos, cada uno de los acuíferos tienen diferentes características, su lectura en el transcurso del tiempo puede ser distinta, registran datos de dos tipos distintos de cronología hidrogeológica. Los piezómetros como se muestra en la figura 6 pueden ser de PVC o de acero laminado, los primeros son más económicos y los segundos se los recomienda para grandes profundidades (Gallupe, 2018).

Funciones

- Medir el nivel freático y/o piezómetro, del agua
- Conocer las características hidrodinámicas del acuífero
- Clasificación del agua
- Toma de muestra de calidad del agua

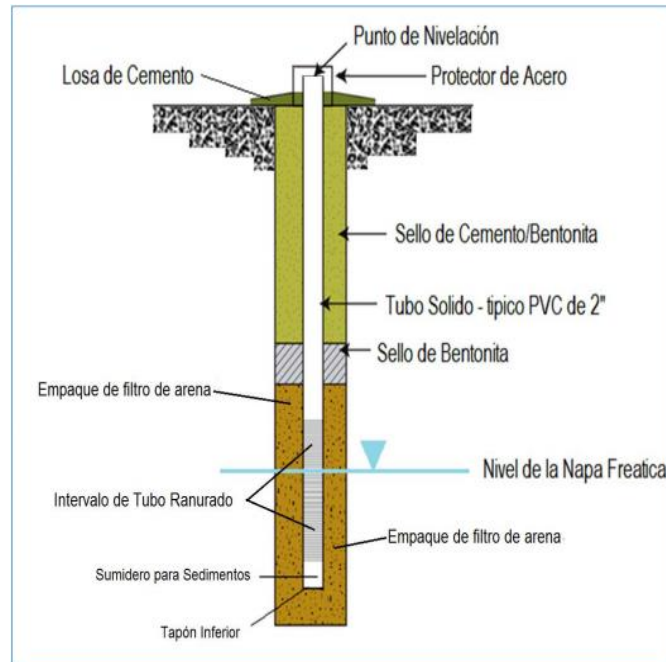


Figura 6: Piezómetro (Gallupe, 2018).

2.7. Medida del nivel freático y piezométrico

Según Samayoa, (2014) existe varios procesos de medición del nivel de agua en los pozos de observación o piezómetros, estos procesos pueden variar, esto depende de las condiciones de los pozos, la precisión de la medida, la profundidad del agua o el factor económico. Entre ellos tenemos los siguientes:

- Cintra métrica metálica
- Sonda acústica
- Flotador
- Sonda eléctrica

Cinta métrica metálica: Se la utiliza introduciéndola hasta la profundidad del pozo en el que se estima que está al nivel, una vez hecho esto procedemos a retirarla y observamos la parte humedecida que vendría hacer la profundidad del agua.

Sonda acústica: Se refiere a una cinta donde un extremo lleva una pieza metálica hueca que al momento de hacer contacto con el agua produce un sonido singular (Expósito, 2015).

Sonda eléctrica: Pueden ser de diversos tipos (Figura 7), aunque todas se caracterizan por tener un circuito eléctrico que se cierra cuando un electrodo entra en contacto con el agua (Bonifazi et al., 2019).

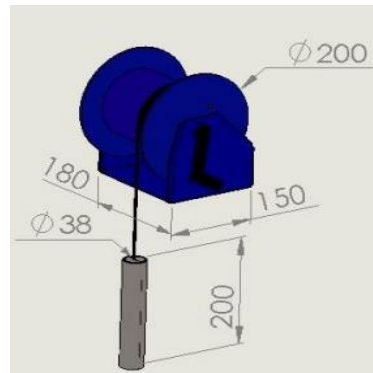


Figura 7: Sonda eléctrica (Bonifazi et al., 2019).

2.8. Hidrógrafos

Los hidrógrafos figura 8, son gráficos que se obtienen a partir de la toma de datos de la variación del nivel de agua observado en los pozos de observación, su forma varía debido a que cada punto tiene diferentes factores como es la velocidad de infiltración del agua, el relieve, la geología y la cubierta vegetal del suelo (Rivas, 2017).

Por lo general se coloca en las abscisas el tiempo y el nivel de agua en las ordenadas. En los hidrógrafos freáticos se toma como referencia la superficie del suelo.

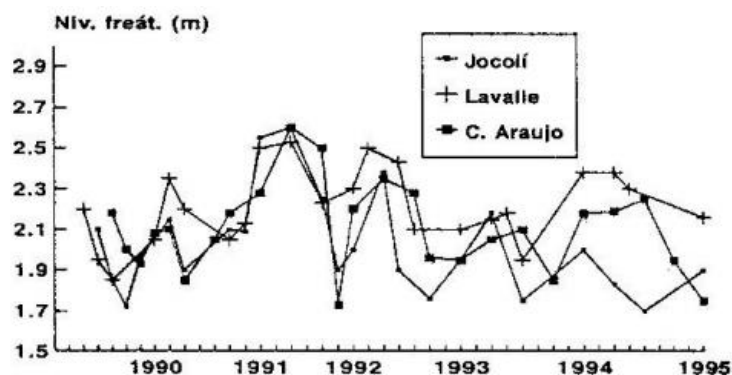


Figura 8: Representación gráfica de Hidrógrafos (Rivas, 2017).

Los hidrógrafos nos ayudan a estudiar lo siguiente:

- A qué velocidad el nivel freático aumenta o disminuye.
- En qué periodos el nivel freático logra llegar a la zona radicular
- Factores de carga del acuífero, analizando los hidrógrafos en relación con los datos de precipitación, riego, bombeo, crecidas de los ríos, etc.
- El comportamiento del nivel freático de la zona a largo plazo

2.9. Mapas freáticos

Los mapas freáticos se elaboran con la recolección de datos obtuvimos en los pozos de observación o de los piezómetros. Se conocen los siguientes:

- Mapa de isohypsas
- Mapa de isobatas
- Mapa de variación de nivel

2.9.1. Mapa de isohypsas

También se los denomina planos isohypsas, para construir estos mapas se necesita un plano topográfico donde se sitúan los piezómetros, se debe tomar en cuenta la carga hidrostática de cada pozo y con esos datos se trazan las curvas de igual nivel a equidistancia que pueden ir de 0.50m a 1.00m entre línea y línea (Chura, 2015).

2.9.2. Mapa de isobatas

Los mapas de isobatas también conocidas como curvas de nivel, son importantes porque nos permiten observar o delimitar las zonas del terreno que necesitan drenaje, en otras palabras, aquellas áreas que son afectadas por el nivel freático que duran periodos extensos (Jiménez et al., 2017).

2.9.3. Mapa de variaciones de nivel

Los mapas de variación se pueden elaborar a partir de los mapas de isohypsas como también de las isobatas, de cualquier caso se superponen los mapas de dos fechas diferentes. En los puntos de intersección de las curvas de nivel se registran los diferentes datos y respectivamente se unen por medio de curvas los puntos de igual variación.

2.10. Interpretación y aplicaciones de los mapas freáticos

2.10.1. Dirección del flujo freático

Tanto los mapas de isobatas como las isohypsas son líneas equipotenciales por lo tanto son líneas de flujo.

2.10.2. Gradiente hidráulico

Para el cálculo del gradiente hidráulico se utiliza la ecuación (1) derivado de la ley de Darcy.

$$v = k \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

Se lo denomina gradiente hidráulico al factor $\Delta h/L$ que se lo puede calcular sencillamente a partir de los mapas isohypsas.

Por lo general en zonas de pequeño gradiente hidráulico teniendo curvas de nivel espaciadas tienen a tener una alta permeabilidad y al contrario pasa con los gradientes hidráulicos fuertes con curvas de nivel próximas se refiere a terrenos poco permeables (Negrão et al., 2016).

2.11. Movimiento del agua hacia los drenes

En el flujo de agua hacia los drenes el levantamiento topográfico de un terreno juega un papel muy importante, tener en cuenta la información topográfica es un instrumento muy útil para saber las variables que afectan la interacción del terreno con otros factores ambientales, en este caso hablamos de las redes de drenaje, otros factores que se tiene que tener en cuenta es la clase textural del suelo, estructura del suelo y la capacidad de infiltración del agua (Carreño, 2014).

2.12. Régimen permanente

Las fórmulas de régimen permanente se refieren a:

- La recarga de agua (R), a un área es constante.
- La salida de agua (Q), por el sistema de drenaje igual es constante, e igual a la recarga permaneciendo la tabla de agua en forma quieta, es decir que no aumenta ni disminuye el nivel de agua.

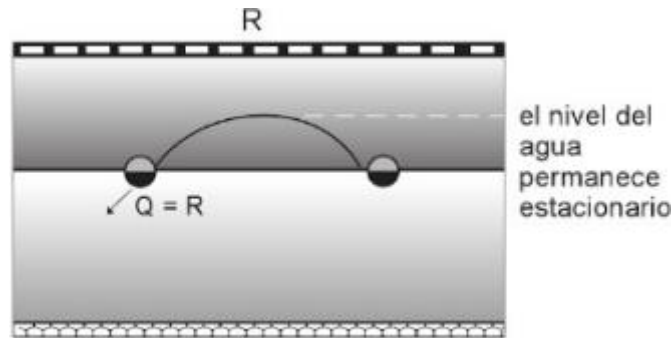


Figura 9: Régimen permanente (Hoyos, 2018).

Por lo general este estado ocurre en zonas húmedas, territorios que están expuestos a constantes precipitaciones durante un periodo de tiempo. En el campo no se da esta situación, pero sin embargo al aplicar las formulas correspondientes saben dar resultados admisibles. Entre los investigadores que han desarrollado estas fórmulas para este régimen tenemos los siguientes: a Donan, Hooghoudt, Ernest, Dagan, Toksoz, Kirkham (Hoyos, 2018).

2.12.1. Formula de Ernst

La ecuación de Ernst se la utiliza en suelos que contienen dos estratos, y el límite entre los dos estratos puede estar por arriba o por debajo del nivel de los drenes. Este método es más útil en situaciones que el estrato que es superior tenga una conductividad hidráulica inferior a la del estrato inferior (Villón, 2005).

Para este mismo autor el principio primordial de la solución de Ernst es de tener en cuenta tres componentes en el flujo: vertical, horizontal y radial. Estos tres componentes proporcionan un esquema complejo del sistema total de flujo. La pérdida de carga hidráulica será: $\Delta h = \Delta h_v + \Delta h_h + \Delta h_r$, donde la carga corresponde a la ecuación (2).

$$h = R \frac{D_v}{K_v} + R \frac{L^2}{8 \sum (KD)_h} + R \frac{L}{\pi Kr} * \ln \frac{aDr}{p} \quad (2)$$

Donde:

- h = carga hidráulica total o la altura del nivel freático en el nivel medio de los drenes (m)
- L = espacio 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 al nivel freático en el punto medio de los drenes y en 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 dren (m/día)
- $K_2 D_2$ = transmisividad hidráulica del estrato por debajo del dren (m/día)

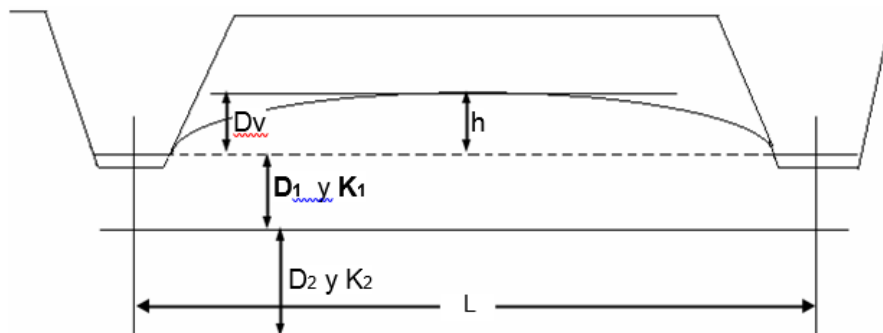


Figura 10: Geometría de la ecuación de Ernst (Villon, 2007).

2.13. Régimen Variable o no permanente

Las fórmulas de régimen variable se refieren a:

- La recarga de agua (R) a un área no es constante
- La descarga de agua (Q) por el sistema de drenes no es constante, e incluso siendo la descarga menor que la recarga, lo que ocasiona la aumentación del nivel freático mientras dure la recarga, para luego ir disminuyendo, y después volver a aumentar al iniciar el próxima riego o lluvia.

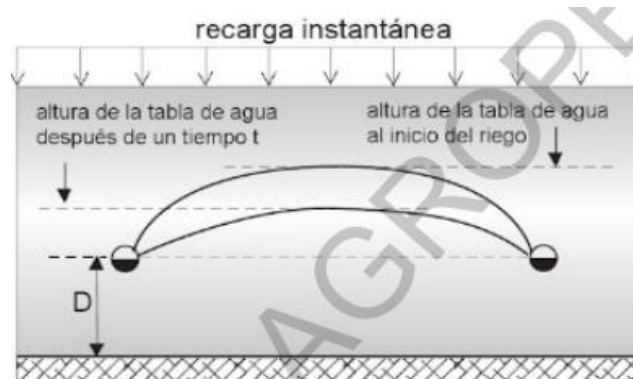


Figura 11: Régimen variable.(Hoyos, 2018)

Este estado sucede en zonas con riego periódico o intensas lluvias. Entre los principales investigadores que han desarrollado las fórmulas para este régimen variable tenemos a: Glover – Dumm, Jenab, Knaijenhoff van de Leur – Maasland entre otros (Hoyos, 2018).

2.13.1. Formula de Glover – Dumm

Para Yousef et al., (2016) esta fórmula de régimen no permanente, se tiene que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Suelo homogéneo
- Flujo horizontal y radial, haciendo uso del estrato equivalente de Hooghoudt.
- Esta fórmula se basa en la solución de la llamada ecuación del flujo de calor.
- Se considera que una recarga instantánea genera una superficie freática, de forma de una parábola de cuarto grado.
- La solución de la ecuación contempla el descenso, de la capa freática, en función del tiempo, del espacio entre drenes y de las propiedades del suelo.

Glover-Dumm propuso la ecuación (3) para el cálculo de espaciamiento de drenes.

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 K \left(d + \frac{h_0}{h_t} \right) t}{\phi \text{Ln} \left(1,16 \frac{h_0}{h_t} \right)}} \quad (3)$$

Para el cálculo del espesor del estrato donde ocurre el flujo horizontal tenemos la ecuación (4)

$$D_h = d + \frac{h_0 + h_t}{4} \quad (4)$$

La ecuación (5) para el cálculo de estrato equivalente de Hooghoudt.

$$d = \frac{D}{\frac{8}{\pi} * \frac{D}{L} \ln\left(\frac{D}{P}\right) + 1} \quad (5)$$

Donde:

- L= espaciamiento de drenes, m.
- K= conductividad hidráulica, m/día.
- D_h = espesor del estrato donde ocurre el flujo horizontal, m.
- d= estrato equivalente de Hooghoudt.
- D= profundidad desde el nivel del agua en los drenes hasta el estrato impermeable.
- H_0 = altura inicial sobre el nivel de los drenes, producido por la recarga instantánea, m.
- H_t = altura sobre el nivel de los drenes, al cabo de un tiempo t, m.
- t= tiempo necesario, para que el agua baje de una posición h_0 , a la posición h_t , días.
- \emptyset = espacio poroso drenable, porosidad drenable, porosidad efectiva, coeficiente de almacenamiento.
- p= perímetro mojado del dren, m.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Granja experimental “Santa Inés” perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuaria (FCA) de la Universidad Técnica de Machala que se encuentra ubicado a 5 1/2 km de la vía Machala–Pasaje, perteneciente a la parroquia el Cambio, cantón Machala, Provincia de El Oro.

3.2. Ubicación geográfica

	Geográficas	UTM
Latitud	79° 54' 05" W	9636128
Longitud	03° 17' 16" S	620701

A una altitud de 6 msnm



Figura 12: Ubicación de la zona de estudio

3.3. Características del lugar de estudio (clima y suelo)

Según el registro de INAMHI las condiciones climáticas del lugar de estudio son:

Tabla 1: Datos climatológicos de la zona de estudio

Dato	Promedio anual
Heliofanía	2 a 3 horas/día
Precipitación	427 mm
Temperatura	25°C

De acuerdo a la zona de vida natural de Holdridge y en el mapa ecológico del Ecuador, el sitio de ensayo corresponde a un bosque seco tropical (bms-T).

3.4. Tipo y Método de investigación

- Tipo Aplicada
- Método analítico

3.5. Equipos y Materiales

Tabla 2: Equipos y materiales utilizados en la investigación

EQUIPOS	MATERIALES
GPS	Flexómetro
Nivel	varilla metálica
Laptop	planilla de registro
Cámara fotográfica	Regla
	Triplo
	Tubo galvanizado de media pulgada

3.6. Metodología del trabajo de investigación

3.6.1. Levantamiento topográfico

Para ubicar la zona de objeto de estudio, se utilizó una carta topográfica, levantada por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M), a una escala 1:200000 (**Anexo 10**).

3.6.2. Estudio topográfico

Delimitación del área de proyecto

Se realizó el levantamiento con ayuda del GPS delimitando el área de estudio, la zona escogida fue de 2,4 hectáreas y posteriormente con ayuda del (AutoCAD 2017), se dibujó el perímetro a una escala 1:2000.

Localización de los piezómetros

Una vez hecho el levantamiento del terreno de la zona de investigación con ayuda del (AutoCAD 2017), se procedió a escoger 15 puntos al azar bien distribuidos por todo el terreno, y teniendo las coordenadas de latitud y longitud de cada punto se procedió a ubicarlos en el terreno con ayuda del GPS, e instalar los piezómetros como se observa en la figura 13.

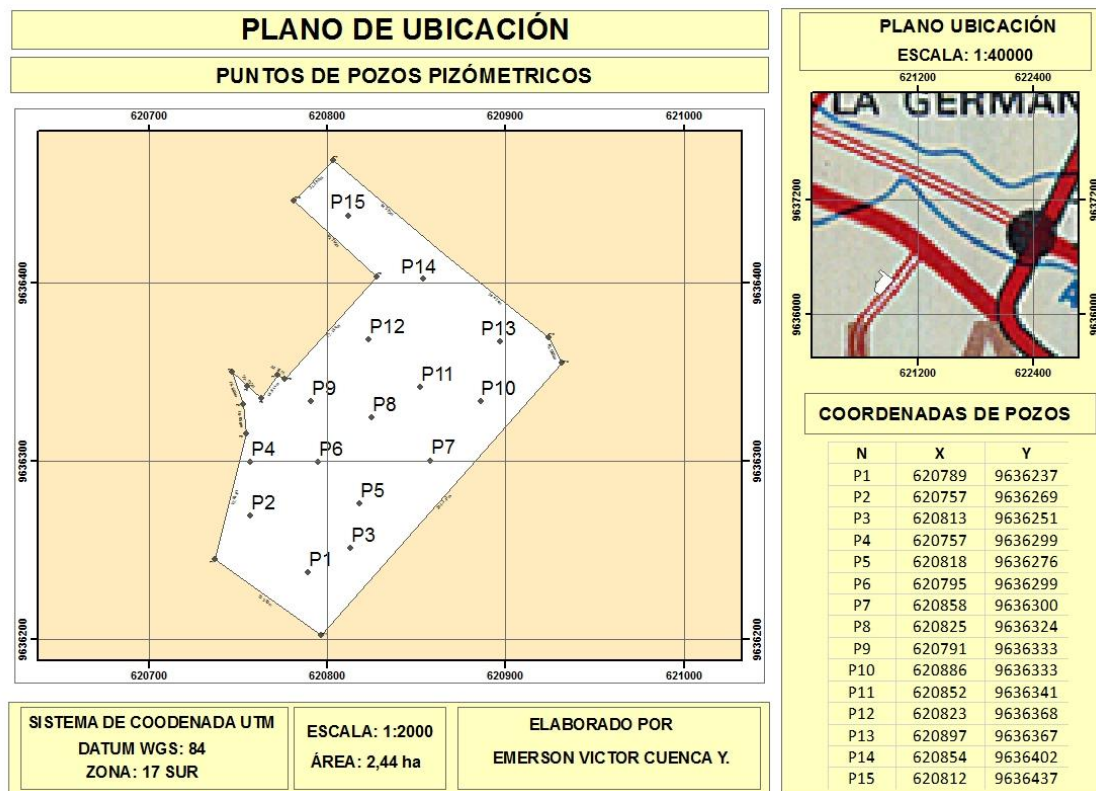


Figura 13: Ubicación y coordenadas de los pozos de observación

3.6.3. Estudios de las características físicas del suelo

Para el conocimiento de las características físicas del suelo, se utilizó los datos registrados de textura, color del suelo del trabajo de investigación de (Fernandez, 2017). Para determinar la clase textural se empleó el triángulo de textura con el método de Bouyoucos, lo que nos permitiría saber el tipo de suelo para diseñar los sistemas de drenaje (Beltrán, 2018).

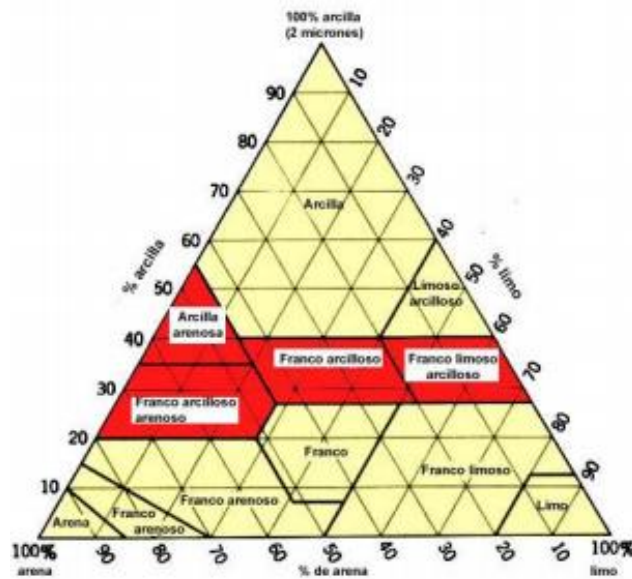


Figura 14: Triángulo de Bouyoucos (FAO, 2009).

3.6.4. Estudio Hidrológico

Se requirió conocer las lluvias críticas que se produce en la zona para saber el incremento máximo en la elevación del nivel freático, para esto se tomaron los datos de precipitación en milímetros máxima en 24 horas de 21 años, registrado por la estación meteorológica “Granja Santa Inés” de la página (INAMHI).

3.6.5. Estudio del Nivel Freático

Para el estudio del nivel freático se instaló una serie de piezómetros en el terreno donde se implementarán los sistemas de drenajes. Se registraron datos durante dos meses cada 15 días, antes y durante el periodo de lluvias. En los días que se producían lluvias, se registraban los datos del nivel freático tres días seguidos después de la lluvia para conocer el aumento del nivel freático de la zona.

3.6.6. Instalación de los piezómetros

Se instalaron 15 tubos piezométrico distribuidos al azar en el terreno de estudio que fue de 2,4 ha. Los tubos instalados eran galvanizados, tenían 3 metros de largo y de media pulgada de diámetro, a cada tubo en un extremo se le puso un tapón para que al momento de introducirlos no se tape con partículas de suelo con una perforación para que se escapen gases que pudieran producirse y haya influencia de la presión atmosférica , en el mismo extremo del tubo se los perforo con pequeños agujeros en zigzag hasta un metro, fueron figados en el suelo a una profundidad de 2,85 metros dejando en la superficie 15 centímetros de tubo libre para así poder registrar los datos del nivel freático, se les construyo una losa de cemento para que no ingrese agua por los costados de los tubos galvanizados y así no pueda alterar los datos de nivel freático.

3.6.7. Elaboración de Mapas Freáticos

Mapa de Isohypsas

Se elaboró a partir del plano topográfico de la zona de estudio donde se encontraban los piezómetros, determinando la carga hidrostática de cada punto y con ayuda del programa ARCGIS se realizó la interpolación por método de IDW.

Mapa de isobatas

Para dibujar este mapa se registró la profundidad de la capa freática de cada punto con respecto a la superficie del suelo y con ayuda del programa ARCGIS se realizó la interpolación por método de IDW.

3.6.8. Cálculo de la conductividad Hidráulica

Se la determino en el campo por el método de barreno o también llamado Auger Hole.

Consiste en hacer un agujero de 50 a 60 cm por debajo del nivel freático extrayendo el agua hasta un nivel y luego medir la recuperación en función del tiempo (Macías et al., 2018).

Para determinar la conductividad hidráulica se utiliza la ecuación (6).

$$K = C * \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (6)$$

El valor C se lo obtiene de un ábaco.

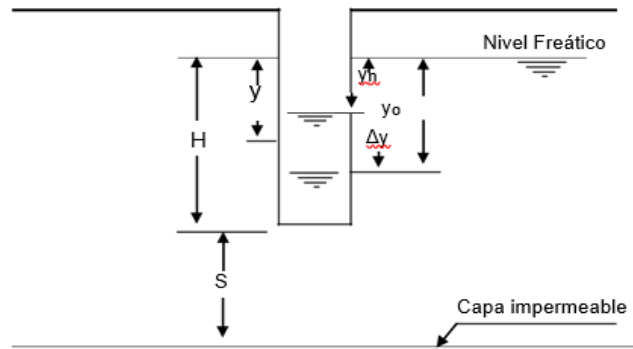


Figura 15: Geometría del cálculo de la conductividad hidráulica (Roldán, 2010).

Ernst propuso dos ecuaciones para el cálculo de C en función de la distancia de la capa impermeable S .

Si $S > H$, ecuación (7)

$$C = \frac{400r^2}{Y(H + 20r) \left(2 - \frac{Y}{H}\right)} \quad (7)$$

Si $S = 0$, ecuación (8)

$$C = \frac{300r^2}{Y(H + 10r) \left(2 - \frac{Y}{H}\right)} \quad (8)$$

Ernst confecciono 2 ábacos para el cálculo rápido el valor de C (Anexos 11 y 12).

3.6.9. Cálculo de caudal de diseño y dimensiones del canal principal

Cálculo de la precipitación de diseño

La lluvia de diseño depende de dos factores, el tiempo de drenaje y el periodo de retorno deseado. El tiempo de drenaje define a su vez lo que dura la lluvia del diseño. El periodo de retorno se elige de acuerdo a la posibilidad que un determinado evento pluviométrico se vuelva repetir. El Soil Conservation Service de USA, recomienda un periodo de retorno de 5 años para drenaje superficial (Villalpando, 2000).

Para este cálculo se sugiere utilizar curvas H_F_D o disponer de datos estadísticos de 10 o más años. Para la distribución Gumbel se utiliza la ecuación (9).

$$X \max = \bar{X} - \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (\bar{Y}_n - \ln T) \quad (9)$$

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
- Y_N = variable reducida (coeficiente función del número de datos)
- T = periodo de retorno (años)

El valor de Y_N y σ_N se lo obtiene en el (Anexo 2).

Cálculo del caudal del diseño

Para el cálculo de caudal de diseño se sugiere utilizar el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, se utiliza la ecuación (10) de Cypress Creek (Faci et al., 2015).

$$Q = \frac{C * A^{5/6}}{100} \quad (10)$$

Donde:

- Q = caudal del diseño (m^3/s)
- A = superficie a drenar en hectáreas
- C = coeficiente de drenaje en $lt/s/ha$

Cálculo de la escorrentía del diseño

El cálculo de escorrentía de diseño (E), se refiere al exceso de agua superficial que se va a evacuar en el tiempo de drenaje. Para estimar la escorrentía se emplea el método del “Numero de Curvas” del Soil Conservation Service S.C.S (1972), de acuerdo a la ecuación (11) (Sánchez et al., 2003).

$$E = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad (11)$$

Donde:

- E= escorrentía de diseño (cm)
- P= precipitación de diseño (cm)
- S= infiltración potencial (cm)

El parámetro de la infiltración potencial (S), es una función definida en el espacio muestral por las observaciones experimentales de la relación precipitación-escurrimiento del sitio de estudio y se calcula mediante la ecuación (12) (Sánchez et al., 2003).

$$S = \frac{2540}{CN} - 25,4 \quad (12)$$

Donde:

- CN= número de curvas, (adim)

El dato CN se consigue de una tabla (**Anexo 3**) dependiendo del tipo hidrológico de suelo, del manejo de suelo y las condiciones de precipitación de la zona.

Cálculo del coeficiente de drenaje

Este cálculo de coeficiente de drenaje (C), se lo obtiene mediante la ecuación (13) propuesta por Stephen y Mills (Gonzáles, 2018).

$$C = 4,573 + 1,62 * E_{24} \quad (13)$$

Donde:

- C= coeficiente de drenaje (l/s/ha)

El cálculo de E₂₄ se lo realiza mediante la ecuación (14):

$$E_{24} = \frac{E * 24}{Td} \quad (14)$$

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

Cálculo de las dimensiones del canal principal

Para determinar las dimensiones del canal principal se registró las dimensiones actuales del canal (tabla 3). Se calculó el área mojada empleando la ecuación (15), el tirante húmedo se lo obtiene con la ecuación (16) y la profundidad del canal con la ecuación (17).

Tabla 3: Dimensiones actuales del canal principal

Talud :	1:1
Base (b) :	0,7 m
Profundidad :	2,6 m
Tirante seco :	2,1 m

$$A = \frac{Q}{V} \quad (15)$$

Donde:

Q= caudal de diseño

V= velocidad del agua del canal

$$Tirante = \frac{\sqrt{b^2 + 4AZ} - b}{2Z} \quad (16)$$

Donde:

b= base del canal

A= área mojada del canal

Z= talud

$$Profundidad = y \text{ húmedo} + libre \quad (17)$$

Donde:

y húmedo= tirante cálculo

libre= tirante seco

3.6.10. Cálculo de espaciamiento entre drenes empleando la Formula de Ernst

Para el cálculo de distanciamiento se utiliza la ecuación (2) propuesta por Ernst y los datos requeridos para su aplicación (tabla 4).

Tabla 4: Datos para la aplicación de la fórmula de Ernst

PEI	=	5 m
P2E	=	0,8 m
PD	=	1,8 m
PTA	=	1,2 m
y	=	0,05 m
Plantilla	=	0,5 m
Talud	=	0,75:1
K ₁	=	0,118 m/día
K ₂	=	0,031 m/día

Donde:

PEI= profundidad de estrato impermeable

P2E= profundidad del segundo estrato

PTA= profundidad de tabla de agua

y= tirante

K₁ y K₂= conductividad hidráulica del estrato superior e inferior (m/día)

Como en esta investigación la profundidad al segundo estrato es menor que la profundidad del dren se aplica la siguiente ecuación (15):

$$h = R \left[\frac{D_v}{K_1} + \frac{h - D_v}{K_2} \right] + \frac{R * L^2}{8(K_1 D_1 + K_2 D_2)} + R * \frac{L}{\pi K_2} * \ln \left(\frac{Dr}{p} \right) \quad (18)$$

se la divide para la recarga R se obtiene la ecuación (16)

$$\frac{h}{R} = \frac{D_v}{K_1} + \frac{h - D_v}{K_2} + \frac{L^2}{8(K_1 D_1 + K_2 D_2)} + \frac{L}{\pi K_2} * \ln \frac{Dr}{p} \quad (19)$$

Donde:

R= recarga de la zona

$$D_v = P_{2E} - P_{TA}$$

$$h = PD - y - P_{TA}$$

L = espaciamiento entre drenes (m)

$K_1 K_2$ = conductividades de los 2 estratos superior e inferior (m/día)

$$D_1 = D_v/2$$

$$D_2 = PEI - P_{2E}$$

$$D_r = PEI - PD + y$$

$$p = b + 2 * y * \sqrt{(1 + Z^2)}$$

3.6.11. Cálculo de espaciamiento entre drenes en el programa ESPADREN

Para el cálculo de espaciamiento de drenes en el programa de ESPADREN se necesita conocer los siguientes datos: la recarga de la zona (R), la profundidad del estrato impermeable (PEI), la profundidad del segundo estrato (P2E), la profundidad del dren (PD), la profundidad de la tabla de agua (PTA), la conductividad hidráulica del estrato superior e inferior (K_1K_2), tirante (y), el ancho de solera (b) y el talud (z).



Figura 16: Programa ESPADREN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estudio de las propiedades físico del suelo

Para el estudio y clasificación del suelo de la zona de estudio se tomaron los datos registrados por (Fernandez, 2017).

En la tabla 5 se presenta las propiedades físicas del suelo a una profundidad de 0-45 cm, en el estrato de 0-15 cm indica un suelo color marrón con un porcentaje de arena de 28.433%, el contenido de limo es más alto con 40.033% mientras que el de arcilla es de 31.533% obteniendo una clase textural Franco arcilloso de acuerdo al método de triángulo de Bouyoucos. En el segunda estrato de 15 a 30 cm se caracterizó por tener un color marrón pálido teniendo el mismo porcentaje de arena que el primer estrato, limo con 39.366% y arcilla 31.533%, permaneciendo en un suelo Franco arcilloso. En el estrato de 45 cm en adelante tiene un color marrón y el porcentaje de arena se elevó a 29.1%, mientras que el de limo fue de 43.133% y arcilla 27.766 obteniendo un suelo franco. Roldan, (2010) en los primeros 50 cm del perfil de suelo de una plantación de banano sus resultados de clase textural son similares teniendo un suelo Franco arcilloso.

Tabla 5:Propiedades físicas del suelo

Profundidad (cm)	Color de suelo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
0-15	Marrón	28,433	40,033	31,533	Franco arcilloso
15-30	marrón pálido	28,433	39,366	15,533	Franco arcilloso
30-45	Marrón	29,1	43,133	27,766	Franco

4.2. Prueba de conductividad hidráulica

4.2.1.Método de Auger Hole

Desarrollado por Diserens en 1934, modificado y perfeccionado por algunos investigadores, entre uno de ellos Ernst 1957.

De acuerdo a la tabla 6, en la primera muestra de suelo en el primer estrato indica una conductividad hidráulica de 0.118 mm/día, dando un valor de C de 4.7 este valor se

obtuvo en uno de los ábacos de Ernst para el cálculo de C, mientras que en el segundo estrato fue de 0.031 mm/día y el valor de C de 4.4, demostrando una mayor conductividad hidráulica en el primer estrato, ver (**Anexo 5**).

En la segunda muestra de suelo indica una mayor conductividad hidráulica en el segundo estrato con un valor de 0.870 mm/día, y en el primer estrato 0.063 mm/día. Roldan, (2010) los resultados obtenidos de conectividad hidráulica por este método de un suelo bananero son similares esto se debe a que los dos suelos son aluviales.

Tabla 6: Conductividad hidráulica del suelo

	Muestra 1		Muestra 2	
	estrato 1	estrato 2	estrato 1	estrato 2
K (mm/día)	0,188	0,031	0,063	0,870

4.3. Piezómetros

4.3.1. Datos de profundidad de nivel freático

La figura 17 muestra el agua más cerca de la superficie del suelo fueron en los pozos 1, 3, 5, 7, 10 y 13 con un valor promedio de 1.15 metros, que se encuentran ubicados por la entrada a la Facultad de Ciencias Agropecuaria, mientras que en los demás pozos se observó que el nivel freático se encuentra por debajo de un metro y medio de profundidad, en donde indica el nivel de agua por debajo de los 2 metros es en el pozo 15 que se encuentra cerca del bosque de la facultad. Vázquez et al., (2017) indica que los niveles freáticos cerca de la superficie del suelo puede afectar el desarrollo de los cultivos, causando salinidad en el suelo debido a la ineficiencia de lavado y ayuda a la acumulación de sales.

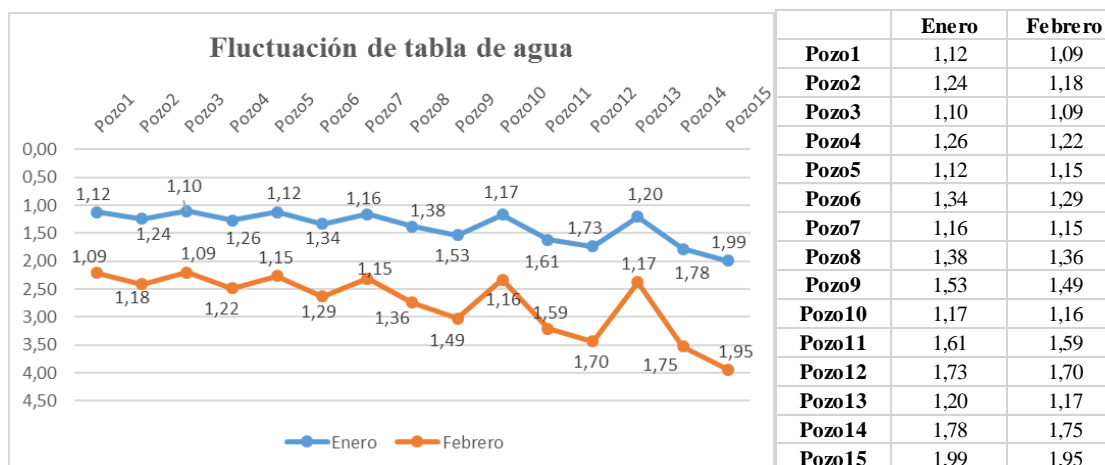


Figura 17: Fluctuación de Tabla de agua

4.4. Elaboración de mapas freáticos

Mapa de Isohypsas: La figura 18, indica un mapa de isohypsas donde las cargas hidrostáticas de los piezómetros son mayores con valores de 4,8 a 5 metros.

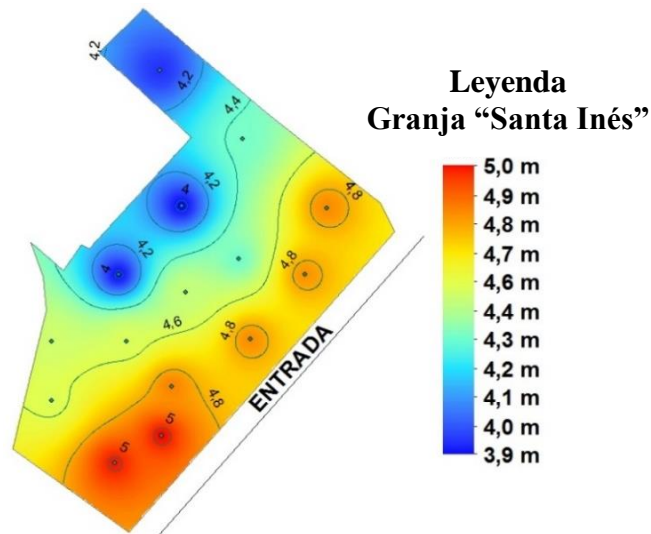


Figura 18: Mapa de Isohypsas

Mapa de Isobatas: La figura 19, muestra un mapa de isobatas indicando el nivel freático más cerca de la superficie del suelo con un valor de 1 metro de profundidad, mientras que el punto donde el nivel freático es de 1,8 siendo el valor más alto ubicándose cerca del bosque de la Universidad Técnica de Machala.

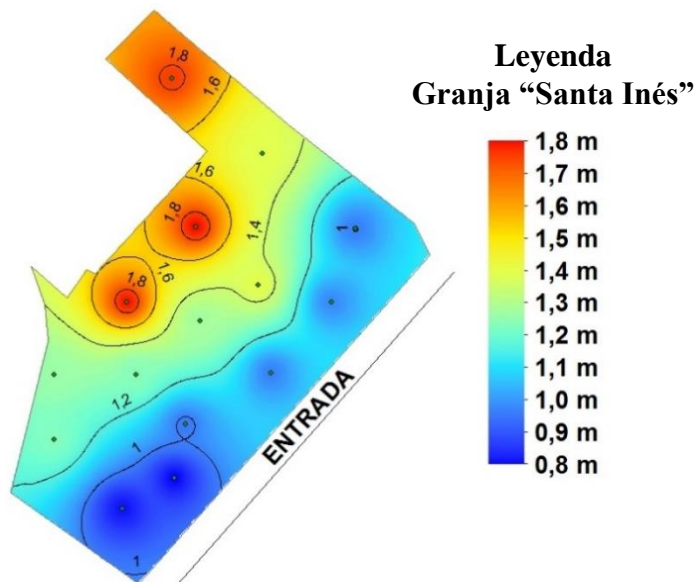


Figura 19: Mapa de Isobatas

Líneas de Flujo: La figura 20 muestra un mapa de isohypsas y la orientación del trazado de las líneas de flujo para así comprender la dirección de los canales del sistema de drenaje de la Granja “Santa Inés”.

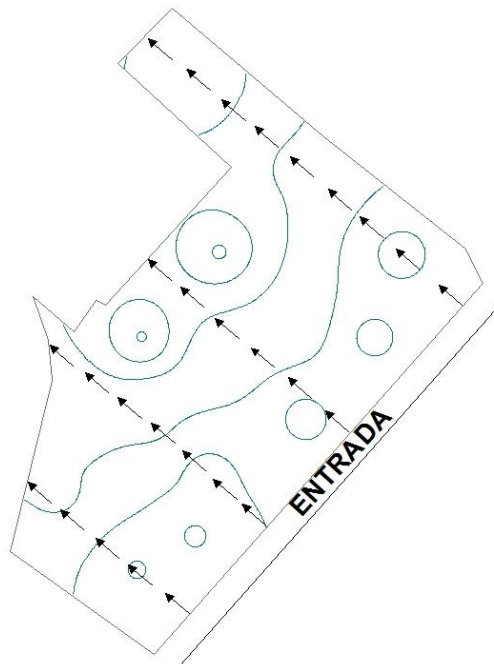


Figura 20: Mapa de isohypsas y trazado de las líneas de flujo

Mapa de diseño del sistema de drenaje: La figura 21 indica el mapa de diseño del sistema de drenaje finalizado con un distanciamiento de 80 metros en el drenaje secundario mientras que en los drenes terciarios cada 12 metros.

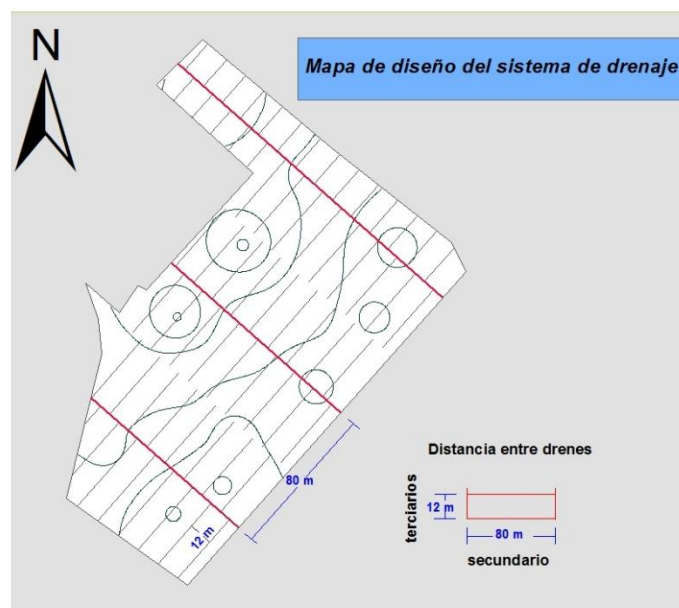


Figura 21: Mapa de diseño del sistema de drenaje

4.5. Cálculo de precipitación de diseño y análisis de pluviometría

Para el análisis de datos de pluviometría se utilizó el método propuesto por Gumbel.

Se obtuvieron los siguientes resultados, la sumatoria de los 21 años de precipitación máxima en 24 horas fue de 1059.7 mm/día, con una desviación estándar de 32.362 como se observa en la (tabla 7). Aplicando la ecuación (9), se determinó una precipitación de diseño de 12,6 cm/día para un retorno de 10 años para el cultivo de banano, demostrando ser una zona de poca precipitación según la página de (INAMHI).

Tabla 7: Análisis de pluviometría y cálculo de precipitación de diseño

Análisis de Pluviometría					
# años analizados	sumatoria total			desviación estándar	
21	1509,7 mm/día			32,362	
Cálculo de precipitación de diseño					
\bar{X}	σ_N	σ_X	Y_N	T	Xmax
71,89	1,0696	32,362	0,5252	10	12,6 cm/día

El análisis de los datos de pluviometría se presenta en el (**Anexo 1**)

4.6. Cálculo de caudal de diseño y dimensiones del canal principal

Mediante la aplicación de diversas ecuaciones se obtuvieron las dimensiones adecuadas del canal principal como se observa en la (tabla 8), la profundidad se la determino con la ecuación (17) dando un resultado de 2,27m, el área mojada se la calculo con la ecuación (16) con un valor de 0,15m², y el tirante (y) se lo obtuvo empleando la ecuación (15) con un valor de 0,17m.

El cálculo de caudal de diseño se lo determino mediante la ecuación (10) dando un resultado de 0,03 m³/s. Aplicando la ecuación (12) se determinó la infiltración potencial con un valor de 4,48 cm, la escorrentía de diseño se la calculo con la ecuación (11) con un valor de 8,46 cm, mismo resultado que dio en el cálculo de E₂₄ usando la ecuación (14) y el coeficiente de drenaje dio un valor de 18,28 aplicando la ecuación (13).

Tabla 8: Dimensiones del canal principal

Cálculo de caudal de diseño	Dimensiones canal principal
Xmax= 12,6 cm/día	Talud = 1:1
S= 4,48 cm	A= 0,15 m ²
E= 8,46 cm	Tirante seco= 2,1 m
Td= 24	B= 0,7 m
E ₂₄ = 8,46 cm	Tirante (y)= 0,17 m
C= 18,28	Profundidad= 2,27 m
Q= 0,03 m ³ /s	

4.7. Cálculo de espaciamiento entre drenes empleando la fórmula de Ernst

La tabla 9 indica un espaciamiento entre drenes de 9,55 metros, resultado que se determinó aplicando la ecuación (19).

Tabla 9: Espaciamiento entre drenes

D_v	h	R	K₁	K₂	D₁	D₂	D_r	p	L
-0,4m	0,55m	0,04m	0,118m/dí a	0,031m/dí a	-0,2m	4,2m	3,25m	0,625 m	9,55m

4.8. Cálculo de espaciamiento entre drenes en el programa de ESPADREN

En la figura 22 indica un espaciamiento de 12 metros entre drenes terciarios. Para este cálculo en ESPADREN se utilizó la conductividad hidráulica de los dos estratos de la segunda muestra.

The screenshot shows the 'Espaciamiento entre drenes, método de Ernst, drenes abiertos en el estrato...' window. It is divided into three main sections: 'Datos' (Input Data), a cross-sectional diagram, and 'Resultados' (Results).

Datos:

Recarga (R):	0.04	m/día
Profundidad estrato impermeable (PEI):	5	m
Profundidad segundo estrato (P2E):	1.2	m
Profundidad del dren (PD):	1.8	m
Profundidad de la tabla de agua (PTA):	1.2	m
Conductividad hidráulica estrato superior (K1):	0.063	m/día
Conductividad hidráulica estrato inferior (K2):	0.87	m/día
Tirante (y):	0.1	m
Ancho de solera (b):	0.5	m
Talud (Z):	0.75	

Diagrama: A cross-sectional diagram of a drainage system. It shows a central drain with a width 'b' and a depth 'PD'. The water table is at a height 'y' from the drain bottom. The diagram labels various layers: 'P2E' (second stratum), 'PEI' (impermeable stratum), 'PTA' (water table), 'K1' and 'K2' (hydraulic conductivities of the two strata), and 'Dh' and 'Dr' (drain diameters). The water table is shown as a dashed line.

Resultados:

Espaciamiento entre drenes (L):	11.98	m
Pérdida de carga vertical (hv):	0.0230	m
Pérdida de carga horizontal (hh):	0.2172	m
Pérdida de carga radial (hr):	0.2598	m
Pérdida de carga total (ht):	0.5000	m

At the bottom of the window, there are four icons: 'Calcular' (Calculate), 'Limpiar Pantalla' (Clear Screen), 'Imprimir' (Print), and 'Menú Principal' (Main Menu).

Figura 22: Espaciamiento entre drenes

5. CONCLUSIONES

- Se determinó el espaciamiento entre drenes terciarios de 12 metros de acuerdo al programa ESPADREN.
- Una vez terminado los mapas freáticos se trazaron las líneas de flujo perpendicular a las curvas de las isohypsas.
- La profundidad del nivel freático en el terreno es variable ya que en algunos pozos estaba por encima de un metro y mientras que en otros superan los dos metros influyendo en el desarrollo de la planta y por ende una baja producción.
- Los canales de la zona en estudio no permiten una adecuada aireación en la zona radicular, lo que provoca un limitado desarrollo de las raíces, por lo que se recomienda profundizar los canales.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la ecuación de Ernst para diseñar sistemas de drenaje porque es más actualizada en suelos que presentan más de dos estratos que la ecuación de Hooghoudt.
- Profundizar los canales secundarios de 10 a 15 cm para permitir una mejor aeración en la finca en el lote investigado.
- Realizar un mantenimiento periódico del canal principal permitiendo un mejor escurrimiento del agua de drenaje.

7. BIBLIOGRAFIA

- Beltrán, J. (2018). Propiedades físicas de los suelos , un recurso natural prestador de servicios biológicos y ambientales . *Universidad Autónoma de Sinaloa - UAS, March*.
- Bianchi, M. H., & Nicuesa, R. R. (2016). *Estudio Del Impacto Del Crecimiento Del Nivel Freatico En El Ejido Urbano De S. J. Del Rincon*.
- Bonifazi, E., Gualde, C., & Rodriguez, R. (2019). *Diseño Y Desarrollo De Sonda De Profundidad*. 1–8.
- Carreño, M. (2014). *Analisis Hidrologico Para La Delimitación de una Red De Drenaje A Partir Del Modelo Digital De Elevación*.
- Castiglioni, M. G. (2016). *Propiedaes Físicas y Conductividad Hidráulica Efectiva En El Transcurso De Una Rotación Trigo/Soya*. 22(1417), 15–25.
- Castillo, E., & Saucedo, H. (2018). *Modelación Del Drenaje Agrícola Subterráneo Utilizando La Ecuación De Richards Bidimencional*. 18054.
- Chávez, C., & Fuentes, C. (2016). *Modelación Del Lavado De Suelos Salinos Con La Ecuación Advección Dispersión Usando Drenaje Subterráneo*. 1–8.
- Chura, L. (2015). *Evaluación De Agua Subterránea A Traves De Pozos Con Fines De Riego En La Comunidad De Quenapajja- Acora*. 2006–2011.
- Combatt, E., Narváez, H., & Bustamante, D. (2015). Estimación de la salinidad en aguas freáticas del área de influencia de la desembocadura del río sinú-córdoba, Colombia. *Idesia*, 33(3), 55–63. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000300009>
- Dietrich, S., Bea, A., & Weinzettel, P. (2016). *Aplicación De Transporte Reactivo Al Estudio De La Movilidad Del Arsénico En La Zona No Saturada*. 174–182.
- Espinosa, A. (2017). *Determinación Del Régimen De Riego Mediante El Uso De Tensiometros En El Cultivo De Nabo (Brassica Rapa Subsp.Rapa), Bajo Invernadero*. 38.
- Expósito, J. (2015). *Hidrogeología. Estudio De La Piezometría Y Balance Hídrico. Parte Iii*.
- Faci, E., Aliod, R., Paño, J., & García Asín, S. (2015). *Desarrollo De Un Modelo Racional Para El Cálculo De Caudales De Diseño Y Curvas De Probabilidad De Frecuencia De Caudales En Bombeos Directos*. 1966, 401–408. <https://doi.org/10.4995/cnriegos.2015.1513>
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*, 100.
- Fernandez, S. (2017). *Evaluación De La Degradación De Suelos En Los Agroecosistemas De La Granja “Santa Ines” De La Universidad Técnica De Machala*. 38.
- Flores, H., & Ruiz, C. (1998). Estimación De La Humedad Del Suelo Para Maiz De

- Temporal Mediante Un Balamce Hidrico. *Water*, 16(378), 219–229.
- Gallupe, J. (2018). *Consideraciones Técnicas Que Influyen En La Construcción De Pozos De Agua y Piezómetros en la Minería Barrick Misquichilca SAC: 2014*.
- González, W. (2018). *Análisis De Sensibilidad En El Diseño De Un Pavimento Flexible A Partir Del Coeficiente De Drenaje*.
- González, A., Herrera, J., & Díaz, Y. (2018). *Parámetros de diseño del sistema de drenaje superficial en áreas forrajeras*. 8(4), 12–20.
- Guevara, E., Mestanza, C., Oliva, M., & Obando, N. (2015). *Población de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de café*. 1(2), 9–15.
<https://doi.org/10.25127/indes.201302.001>
- Hoyos, J. (2018). *Diseño De Un Sistema De Drenaje En El Fundo San Juan. Distrito Chao. Provincia De Virú. La Livertad*. 2019.
- Jiménez, J., Bustos, A., & Arias, N. (2017). *Comportamiento del nivel freático en un suelo franco arcilloso (FAR) de la Zona Oriental*. 25(548), 2017.
- Macías, J., Vargas, A., & Arellano, F. (2018). Conductividad hidráulica en dos sitios del valle central de costa rica: análisis comparativo de tres metodologías de ensayo en la zona no saturada. *Revista Geológica de América Central*, 59, 71–96.
<https://doi.org/10.15517/rgac.v59i0.34160>
- Namuche, J., Saucedo, H., Ruiz, C., Olvera, M., & Días, J. (2017). *Drenaje Agrícola En México: Desarrollo Y Perspectivas*. 485.
- Negrão, P. C., Pereira, S. Y., Gasparini, F., & Leite, V. (2016). *Determinação do gradiente hidráulico médio em aquífero costeiro influenciado pela variação Constante de carga hidráulica em ambiente estuarino determination*. 30, 427–439.
- Ramón, A., & Ortega, M. A. (2017). Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: Implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(2), 91–104. <https://doi.org/10.1029/2009WR007908>
- Reyes, O., & Pérez, R. (2016). Características Fisonómicas Y Funcionales De La Pluvisilva Submontana Sobre Suelos De Mal Drenaje De Monte Iberia, Cuba Oriental. *Foresta Veracruzana*, 18(2), 13–20.
- Rivas, R. (2017). *Análisis estadístico de hidrógrafos para estimar la recarga de agua subterránea donde se ubica el proyecto piloto de recarga en Chihuahua, CHIH, Mexico*.
- Roldán, V. (2010). *Diseño De Un Sistema De Drenaje Mediante Drenes Abiertos Empleando La Ecuación De Ernst Para El Cultivo De Banano*. 68.
- Samayoa, J. (2014). Estudio de los niveles freáticos del área Norte y Este de la ciudad Capital. *Pontificia Universidad Catolica Del Peru*, 8(33), 44.
- Sánchez, I., Velázquez, M., Jasso, R., & Gonzalez, J. (2003). Caracterización de la retención potencial máxima de humedad en el suelo del método SCS-CN. Aplicación a una cuenca de México. *Ingenieria Hidraulica En Mexico*, 18(3), 111–

- Santander, J. (2017). *Diseño E Instalación Del Sistema De Drenaje Y Base Del Estadio Institución Educativo Glorioso San Carlos-Puno*.
- Saucedo, H., Fuentes, C., Zavala, M., & Vauclin, M. (2002). Una solución de elemento finito para la transferencia de agua en un sistema de drenaje agrícola subterráneo. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 17(1), 93–105.
- Vázquez, G. G., Bosch, N., Ricca, A. P., Rojas, D. E., Ortiz De Zárate, M. L., Lascombes, J., Feiguín, M. F., & Cristos, D. (2017). Napa freática: Dinámica, variables de control y contenido de nitratos en suelos de pampa arenosa. *Ciencia Del Suelo*, 35(1), 117–134.
- Velásquez, E. (2016). *Red De Monitoreo Pluvio – Freatimétrica En El Área Establecida En Caña De Azúcar Del Ingenio Risaralda*. 60.
- Villalpando, F. (2000). Drenaje Superficial en Terrenos Agrícolas. SAGARPA - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 15.
- Villon, M. (2007). *Drenaje*. Editorial de Costa Rica.
- Villón, M. (2005). ESPADREN: Software para el cálculo de espaciamiento de drenes terciarios. *Tecnología En Marcha*, 18(2), 60–66.
- Yousef, S. M., Ghaith, M. A., Abdel, M. B., & Soliman, K. M. (2016). *Evaluation and Modification of Some Equations Used in Design of Subsurface Drainage Systems*. April, 21–23.
- Zavala, M., Fuentes, C., & Saucedo, H. (2004). Radiación fractal en la ecuación de Boussinesq del drenaje agrícola. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 19(3), 103–111.

8. ANEXOS

Anexo 1: Cálculo de precipitación de diseño utilizando la distribución Gumbel

Años	Xi		
1990	16,8		
1991	82,3		
1992	100,5	N° Años=	21
1993	81,7	\bar{x} =	71,89
1994	33,6	σX =	32,362
1995	62,4	σN =	1,0696
1996	29,2	Y=	0,5252
1997	130,5		
1998	130,6		
1999	67,8		
2003	54		
2004	51,3		
2005	86,7		
2006	46,4		
2007	80		
2008	111		
2009	87,4		
2010	108,1		
2011	47,8		
2012	64,6		
2013	37		

Periodo de Retorno (Años)	Precipitación
2	76,97
3	89,24
5	104,69
10	125,70
25	153,39
50	174,36
100	195,33
500	244,03

Los datos están expresados en mm/día

Hoja de cálculo en Excel elaborado por el autor del presente trabajo de investigación

Fuente: Datos meteorológicos INAMHI. Estación meteorológica Granja “Santa Inés”

Anexo 2: 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: (Villón, 2007). Ayuda de programa HidroEsta

Anexo 3: Complejos Suelos-Cobertura-Humedad antecedente, para ser utilizada en cálculo de la escorrentía (Condición de humedad II e Ia = 0,2S).

Uso de la tierra	Cobertura Práctica agrícola	Condición hidrológica	Grupo de suelos			
			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,	--	43	65	77	82
	HR	--	45	66	78	83
	Sin quema, Hileras rectas					
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

Fuente: (Roldán, 2010)

CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS

Anexo 4: Clasificación de los suelos A, B, C, 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: (Roldán, 2010)

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 < a 50%. Los valores de la tabla se refieren a condiciones de humedad de tipo II. Si la tormenta presenta condiciones tipo I o tipo III se utiliza las siguientes formulas.

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

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: Cálculo para determinar la conductividad hidráulica en una muestra de suelo por el método de Auger hole en el estrato 1 y 2

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

t (seg)	Y' t(cm)	ΔY		
0	189,9			
2	189,9	0,1	Referencia	35
4	189,8		W' =	145
6	189,8		H =	120
8	189,7	0,1		
10	189,7		$Y_0 = Y'_0 - W'$	44,9
12	189,7		$\Delta Y = Y'_0 - Y'_{20}$	0,5
14	189,6	0,1	$Y = Y_0 - \frac{1}{2}\Delta Y$	44,65
16	189,6			
18	189,5	0,1	C =	4,7
20	189,4	0,1	$K = C * \frac{\Delta Y}{\Delta t}$	0,118
		0,5		

Muestra 1 estrato 2

t (seg)	Y' t(cm)	ΔY		
0	130,5			
10	130,5	0,0	Referencia	35
20	130,4	0,1	W' =	81,5
30	130,4	0	H =	110
40	130,3	0,1		
50	130,2	0,1	$Y_0 = Y'_0 - W'$	49
60	130,1	0,1	$\Delta Y = Y'_0 - Y'_{20}$	0,7
70	130,0	0,1	$Y = Y_0 - \frac{1}{2}\Delta Y$	48,65
80	129,9	0,1		
90	129,9	0,0	C =	4,4
100	129,8	0,1	$K = C * \frac{\Delta Y}{\Delta t}$	0,031
		0,7		

Anexo 6: Levantamiento del perímetro de la zona de estudio con GPS



Fuente: Autor del trabajo de investigación

Ubicación: Granja “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala

Anexo 7: Levantamiento altimétrico con Nivel



Fuente: Autor del trabajo de investigación

Ubicación: Granja “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala

Anexo 8: Pozo de observación



Fuente: Autor del trabajo de investigación

Ubicación: Granja “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala

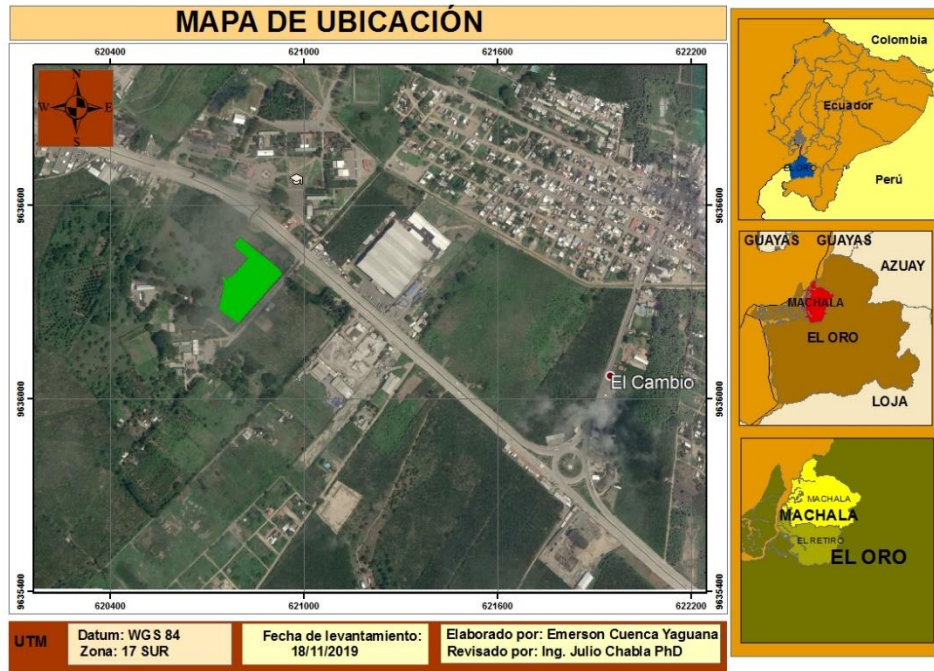
Anexo 9: Limpieza de los pozos con una bomba manual



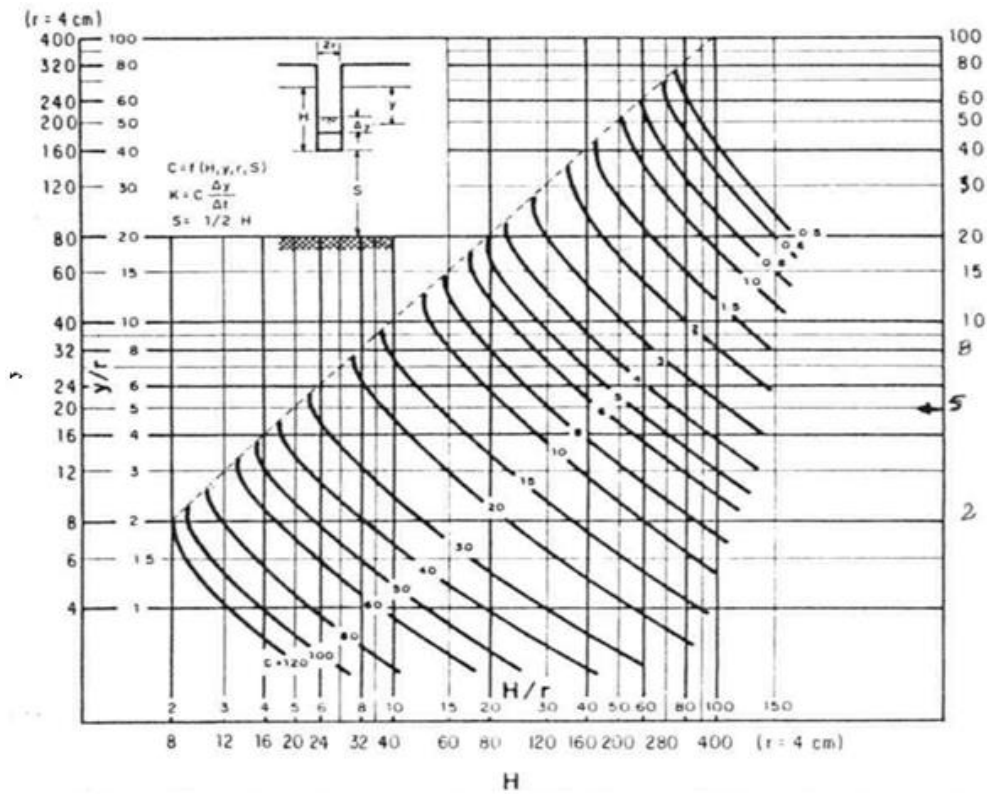
Fuente: Autor del trabajo de investigación

Ubicación: Granja “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala

Anexo 10: Levantamiento cartográfico de la zona de estudio

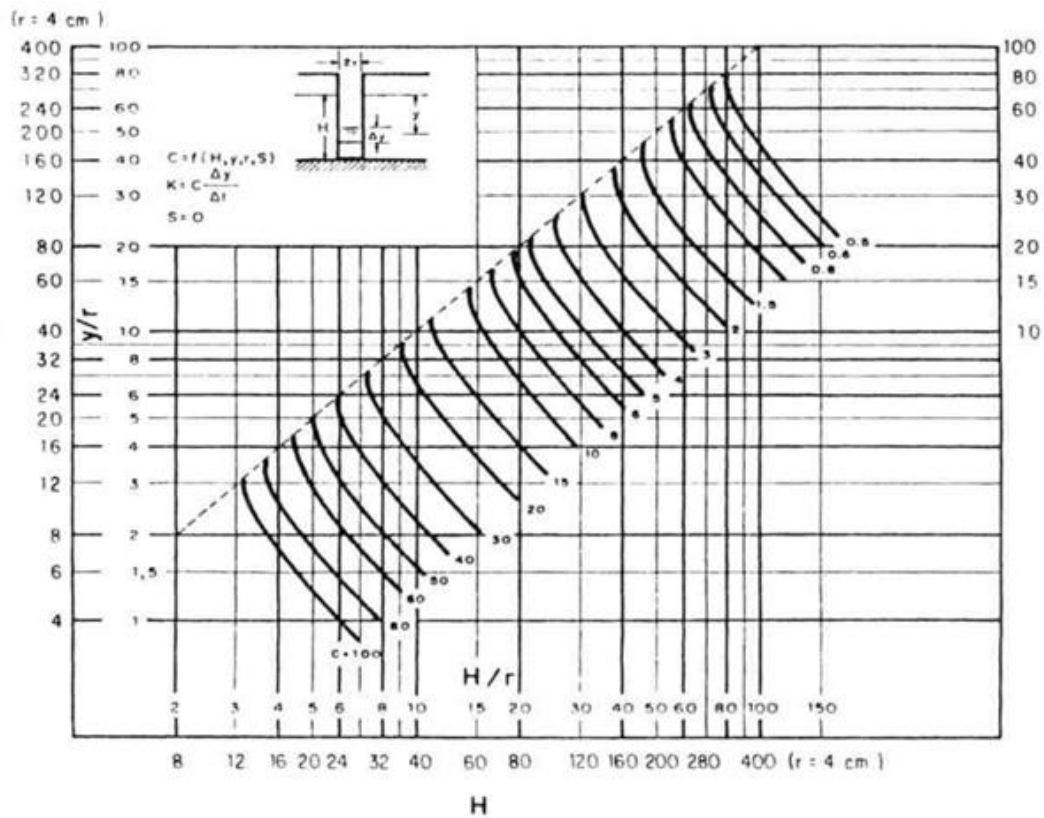


Anexo 11: Abaco para determinar C si $S > H$



Fuente: (Roldán, 2010)

Anexo 12: Abaco para determinar C si S=0



Fuente:(Roldán, 2010)