

Diseño De Un Sistema De Drenaje Mixto Para Suelos Dedicados Al Cultivo de Caña de azúcar.

M García Sánchez¹, G Heuguet Mejía², S López Zapata³, D Morales Cárdenas⁴ y D Vásquez Erazo⁵.
{melissagarsa04¹, danielamoralescd⁴}@gmail.com, {yurikh28²,
sebastian.lopez404³, daniela.vas13³}@hotmail.com
{daniela.vas13⁵}@hotmail.com

Pontificia Universidad Javeriana

Resumen— En el presente documento se describe a grandes rasgos el diseño de un sistema de drenaje, cuyo principal objetivo es abatir los niveles freáticos en los cultivos de caña de azúcar, ubicados en la suerte 52 de la hacienda la cabaña en el municipio de Puerto Tejada, Cauca. Para tal fin resulta necesario llevar a cabo un análisis de estudios de suelos, climatológicos, hidrológicos y freatrímétricos del sector.

Con base en dicha información se determina la realización de un sistema de drenaje mixto, el cual incluye drenes subterráneos y superficiales que logran equilibrar el flujo del agua a nivel del terreno y a profundidades determinadas para el correcto crecimiento y desarrollo de la planta.

Finalmente se desarrolla una propuesta económica del proyecto y se evalúa la viabilidad de su ejecución.

Índice de Términos—Caña de azúcar, nivel freático, sistema de drenaje.

Abstract— This technical proposal aims to describe and make on, the drainage system designs to reduce the high water table levels in the sugar cane plantations located in lot 52 of the “Hacienda La Cabaña” in Puerto Tejada town. First, the different sources of information, which include the climatological, hydrological and hydraulic studies provided by “Ingenio La Cabaña”, are analyzed and interpreted. Also, complementary studies such as soil’s physical and mechanical classification and characterization, are carried out in the evaluation of the problem and

its relation to the hydrological, climatic and environmental conditions of the study zone.

As a result, groundwater sources and precipitations (in rainy seasons) commonly cause floods. Therefore, it is determined the design of a Mixed drainage which includes surface and underground drains that simultaneously balance the water flow at the level of the land and to a certain depth, determined according to the conditions required for the plant’s growth.

Finally, the economic proposal of the project and its feasibility are evaluated allowing for its application’s benefits and impacts.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los cultivos más importantes de la industria colombiana y particularmente del Valle del Cauca, se encuentra el de la caña de azúcar, ya que proporciona variedad de productos como el azúcar y el etanol.

Recientemente algunos de estos cultivos vienen presentando problemas en su producción debido a problemáticas como constante deterioro que sufre el suelo a causa de los altos niveles freáticos, para ello en el presente estudio se pretende generar una solución a dicha variable, a partir del diseño de un sistema de drenaje tipo mixto, cuya función principal es el transporte de los excesos de agua presentes en el suelo y consecuentemente el control de acumulación de sales en los perímetros de riego.

El diseño del sistema de drenaje se fundamenta en las condiciones climatológicas, hidrológicas, topográficas y geotécnicas presentadas en la zona de estudio, logrando de esta manera una propuesta de diseño capaz de

controlar el nivel freático en las condiciones más críticas que se puedan presentar y desde una perspectiva dirigida hacia la sostenibilidad.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Debido a que el problema asociado al bajo desarrollo y muerte de la plantación de caña radica principalmente en la presencia de altos niveles freáticos y capacidad de retención de agua además de la baja permeabilidad en el suelo, es necesario realizar el diseño de un sistema de drenaje capaz de evacuar tanto el volumen asociado a la precipitación máxima como el de exceso generado por el incremento en las alturas del nivel freático. Por lo cual, en busca de satisfacer tanto las necesidades requeridas según el tipo de suelo como la distribución espacial de la plantación, se desarrolla un drenaje tanto superficial como subterráneo, es decir, de tipo MIXTO.

Inicialmente se deben identificar y establecer las siguientes variables de diseño:

1. Topografía de la zona: hace referencia a los aspectos básicos como la ubicación, pendiente máxima y media, cota máxima y mínima y tipo de sistema de drenaje según la orientación y sentido de la siembra.
2. Composición del suelo como la conductividad hidráulica, Angulo de fricción máximo, entre otros.
3. Flujo de aguas, es decir, el sentido de las aguas tanto superficiales como subterráneas.
4. Elementos de drenaje, como lo son zanjas, surcos, cunetas, sumideros y bajantes.
5. Periodo de retorno, según las especificaciones y la vida útil esperada.
6. Datos de precipitaciones históricas de como mínimo 10 años de antigüedad de la zona de estudio.

Una vez establecido esto, se procede a realizar un análisis de frecuencias a partir de los datos históricos recolectados y los diferentes periodos de retorno establecidos con el objetivo de

determinar la lluvia de diseño y a su vez la verificación de la distribución empleada por medio de una prueba de bondad.

Análisis de frecuencia-Gumbel:

Este método es comúnmente empleado cuando no se cuenta con datos de tiempo asociados a las precipitaciones.

$$x = \bar{x} + (S \cdot K) \quad (1)$$

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} (0.577 + \ln(\ln Tr - \ln(Tr - 1))) \quad (2)$$

Donde:

Tr , Periodo de retorno.

\bar{x} , Precipitación promedio (mm).

S , Desviación típica de la muestra

K , factor de corrección según el periodo de retorno.

Corrección -Prueba de bondad Kolmogorov-Smirnov:

Este método consiste en comparar la función teórica Gumbel con la empírica Weibull a partir de las siguientes ecuaciones:

$$P. Weibull = \frac{m}{n + 1} \quad (3)$$

Donde:

m , Posición que ocupa el dato en el orden dado.

n , El número total de datos.

$$Gumbel = 1 - F(X) \quad (4)$$

$$F(X) = e^{-e^{-d(x-u)}} \quad (5)$$

Donde:

X : media

S : desviación estándar

U : parámetro de localización o medida de la tendencia central ($u = X - (0.4499 \times S)$)

d : parámetro de forma, son los parámetros de la distribución ($d = \frac{1}{0.779696 \times S^2}$)

Para establecer si la hipótesis es válida, se compara el D_n Calculado con el D_n tabulado, donde el D_n calculado se determina por medio de la siguiente expresión.

$$D_n = \text{Max} |F(X)_{Weibull} - F(X)_{Gumbel}| \quad (6)$$

Y el D_n tabulado a partir de la siguiente tabla:

Tabla II-1. D_n según confiabilidad y número total de datos.

n	$\alpha = 0.20$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
> 5	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Tomado y adaptado de: (Ángel Escobar, 2015). [1]

Sí,

$$D_n \text{ Calculado} < D_n \text{ Tabulado} \quad (7)$$

Se aprueba la Hipótesis

Drenaje Superficial

El drenaje superficial se encuentra en función de la cantidad de lluvia que se transforma en escorrentía, ya que es a partir de esta que se determina la cantidad de agua excedente a ser evacuada y se establecen las dimensiones de la red de transporte.

Sea la Escorrentía definida por el Soil Conservation Service (SCS) de la siguiente forma:

$$E = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.85} \quad (8)$$

Donde:

S , infiltración Potencial (m^3).

E , escorrentía real (m^3).

P , escorrentía potencial o exceso de precipitación (m^3).

N_c , Numero de curva -Asociado a las características ambientales y físicas del terreno.

$$S = \frac{25400}{NC} - 254 \quad (9)$$

Con base en esto, el caudal total a drenar superficialmente es:

$$Q = CA^{5/6} \quad (10)$$

$$C = 4.573 + 0.162 \cdot E \quad (11)$$

Dónde:

Q , descarga de diseño (L/s)

C , coeficiente de drenaje

A , área (hectáreas)

E , escorrentía (mm)

Conocido esto, se procede a diseñar los elementos estructurales que compondrán el drenaje superficial, para esto se toma como sección de diseño la trapezoidal, ya que además de ser la sección por excelencia, es la que mejor se comporta en canales de tipo erosionables.

Sea la ecuación de Manning la siguiente:

$$Q = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot A}{n} \quad (12)$$

Donde:

$$A, \text{ Área mojada} \quad A = z \cdot y^2 \quad (13)$$

$$R, \text{ Radio Hidráulico} \quad R = \frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}} \quad (14)$$

Para el chequeo y la aprobación de la sección, se debe determinar:

Tirante asociado al caudal de diseño (y):

$$Q = \frac{\left(\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}\right)^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot z \cdot y^2}{n} \quad (15)$$

Estabilidad de Talud

$$\text{Arcotan}(z) \leq \phi \quad (16)$$

Donde

z , talud

ϕ , ángulo de reposo -ángulo de fricción

Determinado el tirante, se procede a hallar la base en función de los siguientes principios:

Sección hidráulica de máxima Eficiencia

$$\frac{b}{y} = 2 \cdot (\sqrt{1+z^2} - z) \quad (17)$$

Sección Hidráulica de mínima infiltración

$$\frac{b}{y} = 4 \cdot (\sqrt{1+z^2} - z) \quad (18)$$

Conocidos los parámetros anteriormente mencionados, se chequea tanto velocidad máxima

y mínima como fuerza tractiva para las secciones propuestas a partir de la siguiente tabla:

Velocidad permisible máxima (m/s)	0.7529 m/s
Velocidad Permisible Mínima	0.08 m/s
Fuerza tractiva máxima (Kgf/m ²)	0.488Kgf/m²

Tabla II-2. Parámetros de Chequeo Para la sección Propuesta.

*Los datos presentados en esta tabla se encuentran en función al tipo de suelo y la relación de vacíos del área de estudio.

Drenaje Interno

De igual forma que sucede con el drenaje superficial, el drenaje interno también debe de diseñarse teniendo en cuenta la cantidad de agua que se desea evacuar. Para ello se parte de la hipótesis propuesta por el libro “*El cultivo de la Caña en la zona azucarera de Colombia – Ricardo Cruz*” donde se tiene que en un evento de precipitación, el 80% del agua cae al suelo y el 20% restante es absorbida por las plantas, adicional a ello, del 80% que cae al suelo, el 60% se convierte en escorrentía y el 40% se infiltra. Es importante mencionar que para el diseño del drenaje interno se trabaja con la cantidad de agua que se infiltra.

Adicional a lo anterior, es importante conocer las condiciones del suelo donde se desea ejecutar el proyecto, para de esta forma, establecer los parámetros iniciales del diseño. Finalmente se emplea el método de Hooghoudt para determinar la separación final entre drenes.

$$L^2 = \frac{4 * k * m_o^2 + 8 * k * d * m_o}{s} \quad (19)$$

Donde:

- k*, conductividad hidráulica del suelo (m/día)
- m_o*, distancia del nivel freático a los drenes (m)
- d*, coeficiente de Hooghoudt
- s*, precipitación (mm)

III. RESULTADOS

Según la investigación realizada previamente sobre el área de estudio, se encuentra que la pendiente máxima y media corresponden respectivamente al 0.2% y 0.15% respectivamente, se cuenta con una cota máxima de 987.55 msnm y mínima de 986.15 msnm. Lo que nos indica que el flujo de aguas va en dirección Nor-occidente de la zona como se muestra en la Figura III-1.

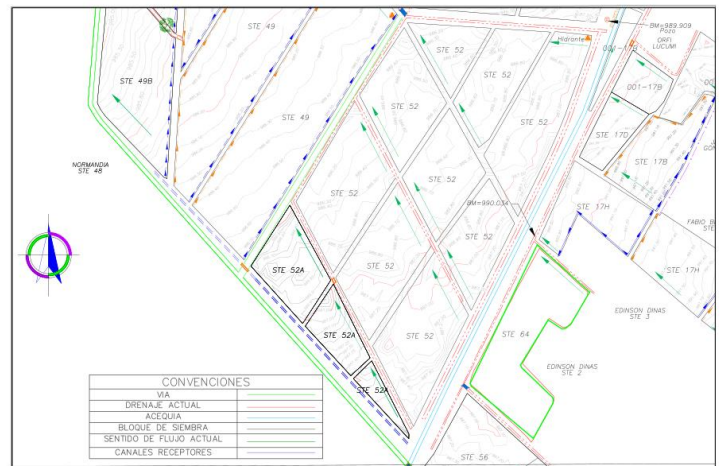


Figura III-1. Sentido de flujo y distribución de la zona de estudio.

Una vez definido el sentido de flujo, se seleccionó el periodo de retorno según las necesidades del cultivo y se determinó a partir de las ecuaciones (1) y (2) la lluvia de diseño asociada a esta, obteniendo para 6 años una precipitación de diseño igual a 80.9 mm lámina de agua. Ahora bien, teniendo en cuenta las características físicas de la zona de estudio, la clasificación de características del suelo para la determinación del número de curva [2] y las ecuaciones (8) y (9) se obtienen valores de 74.796 mm y 5.1837 mm respectivamente, los cuales al ser reemplazados en la ecuación (12) dan como resultado un caudal de 0.0112 m³/s.Ha para un tiempo total de drenaje de 22 horas, no obstante, en busca de optimizar el tiempo de drenado, se establece un caudal a drenar de 0.0249 m³/s.Ha.

Conocido el caudal se establecen 2 tipos de elementos que compondrán el sistema de drenaje:

- Surcos, sección triangular
- Zanjas sección trapezoidal.
- Canal, sección trapezoidal

Tras realizar cada uno de los chequeos anteriormente planteados, se encontró que a nivel de sedimentación, erosión, economía y facilidad constructiva la sección hidráulica de máxima eficiencia satisface en mayor proporción las necesidades requeridas, por lo cual, finalmente es a partir de esta que se diseñan todos los elementos. Para el chequeo de represamiento de aguas fue necesario trazar el perfil de flujo de cada elemento, a partir de la iteración de cada uno de los caudales presentes a lo largo del canal.

Por otra parte, con los parámetros que se establecieron previamente para el diseño del sistema de drenaje interno, se obtuvo una precipitación de diseño de 28.0 mm. Al igual que sucedió con el drenaje superficial, es necesario determinar un caudal de evacuación asociado a la precipitación calculada. El caudal calculado es de $0.00388 \text{ m}^3/\text{s.Ha}$ para evacuar en un tiempo de 20.06 horas, sin embargo, con el objetivo de aumentar la eficiencia del drenaje, se estableció que el tiempo de evacuación del fluido es de 9 horas para un caudal final de $0.0086 \text{ m}^3/\text{s.Ha}$.

Conociendo el caudal que se desea evacuar, se establecen los parámetros iniciales del diseño donde se tiene en cuenta tanto características del suelo como características del diseño.

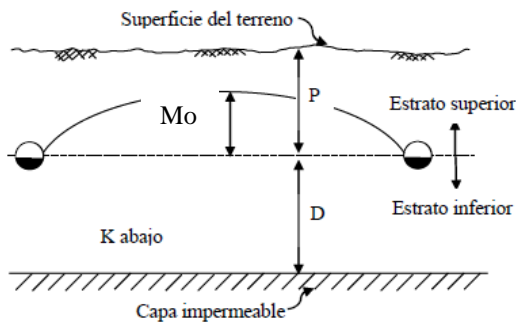


Figura III-2. Características para el diseño del sistema de drenaje interno.

Con todos los parámetros establecidos, se emplea la ecuación (19) para determinar la separación

final de los drenes entubados que para este diseño, arrojó un resultado de 5 metros aproximadamente.

Finalmente, es importante realizar un chequeo de los drenes verificando que el dren soporte el flujo que por ellos circula, es decir, que el tirante no sea mayor al diámetro de la tubería. Adicional a ello, hay que tener en cuenta la pendiente que tendrá el dren con el objetivo de garantizar el flujo normal y disminuir los problemas de sedimentación que se puedan presentar. Para dicho chequeo, se empleó el programa computacional HCANALES V3,0.

IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Según lo planteado anteriormente, se identifica que la evaluación de la infiltración es un aspecto fundamental cuando de cultivos se habla. Queda claro que la problemática gira entorno a el exceso de agua y a la cantidad de minerales presente en el suelo, por lo cual, es necesario destacar la importancia que tiene la composición y tipo de suelo donde se desea sembrar.

La solución más común en el campo agrícola para reducir los problemas de los altos niveles freáticos presentes en los suelos, es la implementación de sistemas de drenaje acordes a la situación existente. De esto se deriva la gran variedad de este tipo de sistemas que dependen básicamente de las características del suelo. Entonces, se sabe que el drenaje es la evacuación por medios naturales o superficiales del agua acumulada en el suelo. La implementación de sistemas de drenaje se puede realizar de tres formas diferentes, drenaje longitudinal, drenaje transversal y drenaje localizado.

Con base en lo anterior se tiene entonces que, para el desarrollo óptimo de un cultivo, además de una buena inversión, es necesario conocer las especificaciones y necesidades que tiene la planta que se desea sembrar, de manera que cuando se seleccione el terreno, las características que éste

presente sean las más completas y recomendables para el cultivo.

REFERENCIAS

- [1] Ángel Escobar, J. A. (2015). Notas de Clase magistrales. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- [2] Soto, C. Y. (25 de enero de 2014). Hidrología.
- [3] Udep, B. (s.f.). Capítulo 3: Infiltración. Recuperado el 1 de Abril de 2016, de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_136_147_89_1258.pdf

Autores

Melissa García Sánchez, nació en Santiago de Cali, Colombia, el 21 de abril de 1995. Se graduó del colegio Juvenilia en el año 2012 y estudia actualmente en la Pontificia Universidad Javeriana donde desarrolla sus estudios profesionales en la carrera Ingeniería



Civil con énfasis en estructuras y vías, en este momento cursa décimo semestre y tiene entre sus campos de interés los recursos hídricos y la construcción como tal.

Una vez terminados sus estudios de pregrado en el año 2017, planea realizar una especialización y posteriormente maestría en ámbitos como la administración de obras y/o recursos hídricos (manejo de aguas).

Gabriela Yuriko Heuguet

Mejía, nació en Barranquilla, Colombia, el 28 de junio de 1996, se graduó del colegio Liceo Juan XXII, en el año 2012 y actualmente estudia en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, donde desarrolla sus estudios profesionales en la carrera de Ingeniería Civil con énfasis en vías y construcción, en este momento cursa décimo semestre y tiene entre sus campos de intereses los recursos hídricos.



Una vez terminados sus estudios de pregrado en el año 2017 planea realizar estudios de postgrado enfatizados en el área de recursos hídricos.

Sebastián López Zapata, nació en Santiago de Cali, Colombia, el 11 de Julio de 1994. Se graduó del colegio

Franciscano de Fray Damián Gonzales en el año 2011 y estudia actualmente en la Pontificia Universidad Javeriana donde desarrolla sus estudios profesionales en la carrera Ingeniería Civil con énfasis en construcción y vías, en este momento cursa décimo semestre y tiene entre sus campos de interés la infraestructura vial, los recursos hídricos y la construcción como tal.



Una vez terminados sus estudios de pregrado en el año 2017, planea realizar un curso de inglés en un país del exterior para posteriormente seguir con sus estudios de especialización y maestría en las áreas viales y construcción.

Daniela Morales Cárdenas

nació en Pereira- Risaralda, Colombia, el 01 de octubre de 1995. Se graduó del Colegio Sagrado Corazón de Jesús - Hermanas Bethlemitas en el año 2012 y actualmente hace parte de la Pontificia Universidad Javeriana donde desarrolla sus estudios profesionales del programa de Ingeniería Civil con énfasis en Vías y Construcción. En este momento cursa décimo semestre de su carrera y muestra especial interés en el campo del diseño geométrico de Vías y materiales de construcción alternativos.



Una vez culmine su programa de pregrado en el año 2017, planea ganar experiencia en el campo de la construcción para luego, realizar una especialización en el diseño de vías y en el estudio de nuevos materiales.

Daniela Vásquez Erazo, nació

el 13 de febrero de 1995, en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca (Colombia). Se graduó del Colegio Claretiano Santa Dorotea en el año 2012 y actualmente estudia Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Javeriana con énfasis en vías y en construcción, donde cursa el décimo semestre de la carrera. Tiene entre sus campos de interés los recursos hídricos y estructuras.



Una vez terminado los estudios de pregrado en el año 2017, planea aprender el idioma inglés para posteriormente especializarse.