

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA DE AGRONOMÍA TROPICAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN FINCA PACHONTÉ,
MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.**

HERBER ALBERTO JOM GARCÍA

201241397

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ FEBRERO DE 2,021.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA DE AGRONOMÍA TROPICAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN FINCA PACHONTÉ,
MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.**

HERBER ALBERTO JOM GARCÍA

201241397

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ FEBRERO DE 2,021.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

M.Sc. Murphy Olimpo Paiz Recinos

Rector

Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

Secretaria General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL
SUROCCIDENTE**

Lic. Luis Carlos Muñoz López

Director

REPRESENTANTE DE PROFESORES

Dr. Reynaldo Humberto Alarcón Noguera

Secretario

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM Y TAE. Rony Roderíco Alonzo Solis

Vocal



COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Dr. Eddie Rodolfo Maldonado Rivera

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Edin Anibal Ortiz Lara

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

M.Sc. José Norberto Thomas Villatoro

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera Ingeniería en Agronomía Tropical

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

Coordinadora Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y Notario

Lic. José David Barillas Chang

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lcda. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Área

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Carreras Plan Fin de Semana del CUNSUROC

Coordinadora de las carreras de Pedagogía

Lcda. Tania Elvira Marroquín Vásquez

Coordinadora Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la
Comunicación

Lic. Heinrich Herman León

Mazatenango, noviembre de 2020.

Honorable Consejo Directivo:
Centro Universitario del Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su despacho.

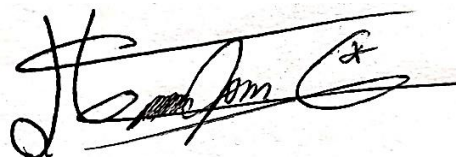
Respetables Miembros del Consejo Directivo:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el Trabajo de Graduación titulado: **“ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN FINCA PACHONTÉ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.”**; presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



T.P.A. Herber Alberto Jom García.
Carné: 201241397



ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por darme la vida, bendecirme todos los días y permitirme alcanzar una meta más.

MIS PADRES

Blanca Estela García Hernández y Raúl Jom Mix por todo su apoyo durante mi ciclo de formación académica y por hacer todo lo que estuvo a su alcance de forma incondicional para que yo alcanzara esta gran meta en mi vida.

MIS ABUELOS

Por sus sabios consejos y muestras de cariño con cada palabra de aliento, aunque algunos ya no estén con vida llevaré conmigo cada palabra de sabiduría.

MIS HERMANOS

Brenda, Raúl y Edy por su apoyo durante cada momento de mi vida, agradezco a Dios por tenerlos como hermanos.

FAMILIA EN GENERAL

Por los múltiples gestos de aprecio y oraciones que me permitieron alcanzar esta meta.

A MIS AMIGOS

Por todo su apoyo, consejos y momentos compartidos, gracias por su amistad.



AGRADECIMIENTOS

A:

Ing. Agr. Ph. D. Milton Leonel Chan Santisteban por su supervisión profesional, su valioso apoyo durante el proceso de E.P.S. y durante la realización de mi trabajo de graduación.

Ing. Agr. M.Sc. Erick España por su apoyo y conocimientos brindados durante la realización de mi documento de graduación.

Ing. Agr. Edy Aifán, Ing. Agr. MSc. Carlos Barrera, por sus conocimientos brindados para la realización de mi documento de investigación.

Empresa PALO GORDO S.A. Por permitirme realizar mi E.P.S. en finca Pachonté.

Los colaboradores de finca Pachonté. Por su amistad y apoyo brindado hacia mi persona durante mi estadía en la finca.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURA.....	vii
ABSTRACT	viii
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN	01
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	03
1. Marco Conceptual.....	03
1.1 Concepto de suelo	03
1.1.1 Perfil del suelo	03
1.1.1.1 Calicata.....	03
1.1.1.2 Horizonte de suelo.....	04
1.1.2 Propiedades físicas de los suelos.....	04
1.1.2.1 Textura	04
1.1.2.2 Estructura	05
1.1.2.3 Densidad del suelo	06
a) Densidad Real	06
b) Densidad aparente	06
c) Velocidad de infiltración del agua en el suelo	06
1.2 Constantes de humedad del suelo y cultivo de (<i>S. officinarum</i> L.).....	07
1.2.1 Capacidad de Campo	07
1.2.2 Punto de Marchitez Permanente	08
1.2.3 Niveles de humedad en el suelo.....	08
1.2.4 Cultivo de (<i>Saccharum officinarum</i> L.).....	09
1.3 Evapotranspiración	11
1.4 Riego en el cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	14
1.5 Levantamiento de suelos	14
1.5.1 Niveles de levantamiento de suelos	15

CONTENIDO	PÁGINA
1.5.1.1 Compilaciones	15
1.5.1.2 Exploratorios.....	15
1.5.1.3 Reconocimiento	15
1.5.1.4 Semidetallado.....	16
1.5.1.5 Detallado	16
1.5.1.6 Intensivo	16
1.6 Estudios de suelos con fines de riego.....	17
1.6.1 ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE NUTRICIÓN Y RIEGO EN LOS CULTIVOS CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) Y HULE (<i>Hevea brasiliensis</i>) EN FINCA EL ROSARIO, CUYOTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ	17
1.6.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE SUELOS CON FINES DE MANEJO DE RIEGO, EN FINCA LA CANOA, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS INGENIO PALO GORDO S.A., CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.....	18
1.6.3 ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) EN LAS FINCAS DE LA ZONA DOS DEL INGENIO PALO GORDO, SUCHITEPÉQUEZ.....	19
2 Marco Referencial.....	20
2.1 Ubicación y área de finca Pachonté.....	20
2.2 Área de finca Pachonté.....	20
2.3 Zona de vida	21
2.4 Suelo de finca Pachonté	21
2.5 Vías de acceso	22
2.6 Ubicación geográfica de finca Pachonté.....	22
2.7 Croquis de finca Pachonté.....	23
2.8 Riego en finca Pachonté.....	26
2.8.1 Sistemas y frecuencias de riego.....	26
2.8.2 Período de riego en el cultivo de (<i>S. officinarum</i> L.) en Pachonté	27

CONTENIDO	PÁGINA
2.8.3 Costo del riego	28
2.9 Cultivo de (<i>S. officinarum</i> L.) en Pachonté.....	30
2.9.1 Variedades de (<i>S. officinarum</i> L.) en Pachonté	30
2.9.2 Edad del cultivo de (<i>S. officinarum</i> L.) en Pachonté	31
2.9.3 Cosecha y rendimiento de (<i>S. officinarum</i> L.) en Pachonté.....	32
III. OBJETIVOS	36
IV. HIPOTESIS	37
V. MATERIALES Y MÉTODOS	38
1. Materiales.....	38
1.1 Insumos.....	38
1.2 Equipo	38
1.3 Recurso humano	39
1.4 Metodología	39
1.4.1 Fase preliminar	39
1.4.1.1 Ubicación de puntos de muestreo.....	39
1.4.1.2 (E ₀) y (K _c) para el cultivo de (<i>S. officinarum</i> L) en Pachonté.	41
1.4.2 Fase de campo	41
1.4.2.1 Obtención de muestras de suelo para determinación de constantes de humedad.....	41
1.4.2.2 Pruebas de infiltración en el suelo	42
1.4.2.3 Aforo de emisores de riego	43
1.4.3 Fase de laboratorio	44
1.4.3.1 Porcentaje de Capacidad de Campo (% CC).....	44
1.4.3.2 Porcentaje de Punto de Marchitez Permanente (% PMP)	44
1.4.3.3 Densidad Aparente (g/cc)	44
1.4.3.4 Textura.....	44
1.4.4 Fase de Gabinete	44
1.4.4.1 Lámina neta	44
1.4.4.2 Lámina bruta de riego	45
1.4.4.3 Frecuencia de riego	45

CONTENIDO	PÁGINA
1.4.4.4 Lámina neta ajustada.....	46
1.4.4.5 Lámina bruta ajustada	46
1.4.4.6 Elaboración de mapas temáticos	46
1.4.4.7 Análisis económico de la información	47
1.4.4.8 Análisis del gasto de agua con frecuencias y láminas de riego obtenidas del estudio	48
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
1. Caracterización de los suelos de finca Pachonté.....	50
1.1 Textura del suelo	50
1.2 Estructura del suelo	53
1.3 Densidad Aparente	54
1.4 Constantes de humedad.....	54
1.5 Velocidad de infiltración	56
2. Láminas y frecuencias de riego	59
2.1 Láminas de riego	59
2.2 Frecuencia de riego	61
3. Análisis del gasto de agua con la implementación del estudio.	66
4. Análisis económico	69
VII. CONCLUSIONES	72
VIII. RECOMENDACIONES	73
IX. REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS	74
X. ANEXOS	80

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
01. Escala de la textura de suelo según USDA e ISS.....	05
02. Etapa Fenológica del cultivo de (<i>S. officinarum</i> L.) observado en un ensayo en un área lisimétrica.....	09
03. Valores de evapotranspiración promedio en mm/día según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona cañera guatemalteca.....	12
04. Valores de Kc según etapa fenológica y tipo de suelo, seleccionados en la zona cañera de Guatemala.....	13
05. Descripción de los sistemas de riego en Pachonté.....	26
06. Frecuencia de riegos de cada equipo de riego en Pachonté durante la zafra 2,017-2,018.	27
07. Costo tarifario por hectárea en el riego aspersión cañón y mini aspersión.....	29
08. Valores de E_{t0} y Kc para el cultivo en riego pre corte y pos corte en finca Pachonté.	41
09. Resumen de las propiedades físicas del horizonte superficial que se relacionan con el manejo del riego obtenidos del estudio en Pachonté.	56
10. Resumen de lámina neta y bruta para riego ore y pos corte en cada zona obtenida del estudio.....	59
11. Tiempo de riego pre y pos corte de cada sistema de riego en cada Zona obtenida del estudio.....	60
12. Comparación de láminas brutas en riego pre y pos corte actual con respecto al obtenido del estudio para cada zona	61
13. Resumen de zonas homogéneas y su frecuencia de riego.....	62
14. Comparación de frecuencias de riego pre y pos corte actual con respecto al obtenido del estudio para cada zona	63

CUADRO	PÁGINA
15. Resumen del gasto de agua por temporada implementando la frecuencia de riego obtenida del estudio en Pachonté.....	66
16. Resumen del gasto de agua cuando se utiliza frecuencias de la zafra 2,0172,018 y láminas brutas de riego obtenidas del estudio.	67
17. Análisis de costos utilizando frecuencias de riego de riego sin estudio del suelo.....	69
18. Análisis de costos utilizando frecuencias de riego de riego obtenido del estudio en cada módulo actual de riego por aspersión y mini aspersión en riego pre y pos corte.	70
19. Resultados de análisis físicos de suelo obtenidos en el laboratorio.....	80
20. Estructuras del suelo caracterizadas en finca Pachonté durante el estudio.....	81
21. Resumen de parámetros de Kostiakov-Lewis.....	82
22. Lotes de finca Pachonté de Zona A y Zona B determinadas con el estudio de suelo.	83
23. Lotes de finca Pachonté aptos para riego por aspersión o mini aspersión con base a su velocidad de infiltración en el suelo.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
01. Punto crítico en relación con el agua útil en el suelo	08
02. Sistema radicular de la caña de azúcar.	10
03. Finca Pachonté en el mapa de Guatemala y del departamento de Suchitepéquez	23
04. Plano administrativo de finca Pachonté (1 de 2)	24
05. Plano administrativo de finca Pachonté (2 de 2)	25
06. Variedades de (<i>S. officinarum</i> L.) que se cultiva en Pachonté.....	30
07. Edad del cultivo de (<i>S. officinarum</i> L.) en Pachonté.....	32
08. Rendimiento de caña de azúcar en Pachonté del 2,013 a 2,018.	33
09. Mapa de rendimiento en finca Pachonté.....	35
10. Puntos de muestreo en el mapa de Pachonté	40
11. Formato de etiqueta de muestras de suelo.	42
12. Distribución de arcillas, área y constante de humedad promedio De cada textura de suelo obtenida del estudio	52
13. Mapa de zonas en Pachonté aptas para riego con aspersores Cañón y mini aspersores con su respectiva área.....	58
14. Mapa de lámina bruta, frecuencia de riego pre y pos corte obtenidas Del estudio en Pachonté	65
15. Extracción de muestras de suelo en calicata	85
16. Muestra de suelo etiquetada	85
17. Prueba de infiltración básica.	86
18. Aforo de aspersion cañón.....	86

ABSTRACT

SEMI-DETACHED STUDY OF SOILS FOR IRRIGATION PURPOSES IN THE CULTIVATION OF SUGAR CANE (*Saccharum officinarum* L.) IN PACHONTÉ FARM, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.

This document contains the inferential research report carried out at the Pachonté farm of Ingenio Palo Gordo, Mazatenango, Suchitepéquez. Sugar Cane (*Saccharum officinarum* L.) is cultivated on this farm. The research was part of the Supervised Professional Exercise of the Engineering Degree in Tropical Agronomy at the University of San Carlos de Guatemala.

The objective of the research was to carry out a semi-detailed study of soils for irrigation purposes in the cultivation of (*Saccharum officinarum* L.) in Pachonté farm.

The study identified two different components of the landscape for the location of soil sampling points, with the samples obtained the soil moisture constants and texture were determined, this together with the climatic information and water requirements of the crop in the Pachonté farm allowed to determine areas of the farm that require the same amount of irrigation water. Soil water infiltration tests were also carried out, which made it possible to identify areas suitable for irrigation with high and low discharge sprinklers.

With the information obtained, thematic maps were elaborated with the use of a digital tool of the Geographic Information System (GIS) to identify areas of the Pachonté farm that require similar management of irrigation before and after cutting sugar cane (*Saccharum officinarum* L.).

During the pre-cut irrigation in an area of 391.42 hectares the frequency should be seven days with a gross sheet of 43.1 millimeters and for the other area with 184.11 hectares the frequency should be five days with a gross sheet of 31 millimeters. While

for post-cut irrigation, the irrigation frequency should be ten days, gross sheet of 41.6 millimeters and eight days with gross sheet of 33.2 millimeters respectively.

The irrigation sheets obtained from the study are smaller than those that were applied before the investigation; This affects the operating time of the issuers available at the Pachonté farm.

The economic analysis of the study indicates that when irrigating with the data obtained from it, less irrigation sheet is applied, but more frequently, this results in a reduction of the cost benefit compared to current management, so the crop must suffer water stress to maintain the cost benefit ratio.

RESUMEN

ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN FINCA PACHONTÉ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.

El presente documento contiene el informe de investigación inferencial realizada en finca Pachonté del Ingenio Palo Gordo, Mazatenango, Suchitepéquez. En esta finca se cultiva Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.). La investigación fue parte del Ejercicio Profesional Supervisado de la Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La investigación tuvo como objetivo efectuar un estudio semidetallado de suelos con fines de riego en el cultivo de (*Saccharum officinarum* L.) en finca Pachonté.

El estudio identificó dos diferentes componentes del paisaje para la ubicación de puntos de muestreo de suelo, con las muestras obtenidas se determinaron las constantes de humedad del suelo y textura, esto junto a la información climática y requerimientos hídricos del cultivo en finca Pachonté permitió determinar zonas de la finca que requieren la misma cantidad de agua de riego. También se efectuaron pruebas de infiltración del agua en el suelo lo que permitió identificar zonas aptas para riego con aspersores de alta y baja descarga.

Con la información obtenida se elaboraron mapas temáticos con el uso de una herramienta digital de Sistema de Información Geográfica (SIG), para identificar zonas de finca Pachonté que requieren de manejo similar del riego pre y pos corte de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.).

Durante el riego pre corte en una zona de 391.42 hectáreas la frecuencia debe ser de siete días con lámina bruta de 43.1 milímetros y para la otra zona con 184.11 hectáreas la frecuencia debe ser de cinco días con una lámina bruta de 31 milímetros. Mientras

que para el riego pos corte la frecuencia de riego debe ser de diez días, lámina bruta de 41.6 milímetros y ocho días con lámina bruta de 33.2 milímetros de forma respectiva.

Las láminas de riego obtenidas del estudio son menores que las que se aplicaban antes de la investigación; esto repercute en el tiempo de operación de los emisores disponibles en finca Pachonté.

El análisis económico del estudio indica que cuando se riega con los datos obtenidos del mismo, se aplica menor lámina de riego, pero con mayor frecuencia, esto repercute en una reducción del beneficio costo comparado con el manejo actual, por lo que el cultivo debe sufrir estrés hídrico para mantener la relación beneficio costo.

I. INTRODUCCIÓN

Finca Pachonté está ubicada a 7.5 kilómetros al Sur de Mazatenango. En Pachonté se cultiva Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.) con recursos del Ingenio azucarero Palo Gordo S.A.

La plantación de (*S. officinarum* L.) tiene una extensión de 575.53 hectáreas, ésta es regada antes y después del corte con sistemas de riego con aspersores de alta y baja descarga.

En Guatemala el agua disponible para riego es cada vez más escasa, a ello se debe agregar el hecho que en la mayoría de los casos no se efectúa estudios técnicos de los suelos utilizados para agricultura que permita aprovechar de forma eficiente este recurso. En el Sur del país, el riego es una práctica vigente en plantaciones de caña de azúcar (*S. officinarum* L.) y otros cultivos, la cantidad de agua disponible en época seca para esta práctica en ocasiones ha sido razón de conflicto con habitantes de la región debido a la escasa cantidad de agua. En finca Pachonté el manejo del riego es efectuado sin un estudio de suelos con fines de riego que permita llevar a cabo esta práctica de forma óptima en la plantación de (*S. officinarum* L.), esto provoca incertidumbre del uso del recurso hídrico disponible en la finca.

En este documento se presentan los resultados de un estudio semidetallado de suelos con fines de riego efectuado en finca Pachonté. El estudio se llevó a cabo entre agosto y diciembre del año 2,018, para tal efecto las fases fueron: fase premilitar, campo, laboratorio y gabinete.

Las características físicas del suelo obtenidas del estudio que se relacionan con el manejo del riego en finca Pachonté, permitieron verificar la aptitud de zonas para este fin relacionado con los equipos con los que cuenta la finca, un análisis económico acompaña los resultados para determinar la consecuencia que tendría la implementación de este.

La información es presentada a través de cuadros y figuras para su comprensión, en ellos se destaca los aspectos relevantes y el análisis de los resultados obtenidos del estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Marco conceptual

1.1 Concepto de suelo

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2,006), es el medio natural para el crecimiento de las plantas, un cuerpo natural que consiste en capas (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua, es el producto final de la influencia del tiempo combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), materiales parentales (rocas y minerales originarios); el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color, propiedades químicas, biológicas y físicas. Acosta (2,006) indica que el suelo está constituido en su mayoría por materiales minerales, producto de la descomposición de la roca madre de la corteza del globo terráqueo por la acción de diferentes meteoros del clima, como son la lluvia, la nieve y el viento, estos son fuertemente impactados por los cambios de temperatura del día y de la noche.

1.1.1 Perfil del suelo

De acuerdo con Tobías (1,997), citado por Gonzáles (2,016), es la exposición vertical de una porción superficial de la corteza terrestre que incluye todas las capas que han sido formadas por los llamados procesos edafogénicos, su estudio detallado se logra solo por medio de la apertura de pozos denominados calicatas o trincheras.

1.1.1.1 Calicata

De acuerdo con Tobías (1,997), citado por Gonzáles (2,016), es un agujero que se abre en el suelo, generalmente de superficie rectangular y profundidad variable, en dónde se puede observar, describir y tomar muestras de los horizontes que comprenden el perfil del suelo, las dimensiones comunes son de 1.00 x 2.00 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad, cuando el punto de observación es menor de un metro de profundidad recibe otros nombres como: pozo de observación o trinchera.

1.1.1.2 Horizonte de suelo

El horizonte de un suelo es una capa paralela a la superficie, con características impartidas por los procesos de formación del suelo (FAO, 2,006).

1.1.2 Propiedades físicas de los suelos

1.1.2.1 Textura

Se define como las proporciones de partículas de arena, limo y arcilla que se encuentran en el suelo (Acosta, 2,006).

Según indica Acosta (2,006), las características físicas son las responsables del comportamiento del agua en el suelo; así, un suelo con mucha arena no tiene capacidad para retener el agua, misma que se infiltra con rapidez, en el caso de un suelo con gran cantidad de arcilla, el agua no drena, por lo que se encharca y limita el intercambio de aire en el suelo, esto es indeseable para las plantas; sus raíces no pueden respirar en condiciones de excesos de agua en el suelo.

De acuerdo con Sandoval (1,989) la descripción de la textura de un suelo se realiza especificando los porcentajes de partículas totales cuyo tamaño está comprendido entre límites determinados, según diversas escalas. Entre las empleadas, las más utilizadas son la de USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y las de la ISSS (Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo).

Cuadro 1. Escala de la textura de suelo según USDA e ISSS.

Partícula	Tamaño según la USDA	Tamaño según la ISSS
Arena muy gruesa	1.0 - 2.0 mm	-----
Arena gruesa	0.5 - 1.0 mm	0.2 – 2.0 mm
Arena mediana	0.25 - 0.5 mm	-----
Arena fina	0.1-0.25 mm	0.02 – 0.2 mm
Arena muy fina	0.05-0.1 mm	0.002 – 0.02 mm
Limo	0.002 – 0.05mm	-----
Arcilla	<0.002 mm	<0.002 mm

Fuente: Irungaray, (1,997).

1.1.2.2 Estructura

De acuerdo con Sandoval (1,989) la estructura es el término que se utiliza para referirse a la agregación de partículas de suelo (arena, limo y arcilla) en grupos de partículas primarias, las cuales están separadas de los agregados adyacentes por superficies de ruptura, el autor también indica que la importancia que tiene de conocer de la estructura del suelo en riego es porque afecta básicamente la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

De acuerdo con la FAO (2,009) la estructura del suelo se refiere a la organización natural de las partículas del suelo en unidades de suelo discretas agregados o peds que resultan de procesos pedogenéticos. La institución también indica que en suelos desagregados o sin estructura, no se observan agregados en sitio y no existe una organización definitiva de las superficies naturales de debilidad, también indica que los suelos sin estructura se dividen en granos simples y masivos (ver abajo), los granos simples tienen una consistencia suelta, suave o muy friable y consiste en la ruptura de más de 50 por ciento de partículas minerales discretas, los suelos con estructura masiva tienen normalmente una consistencia más fuerte y es más coherente en cuanto a ruptura, los suelos de estructura masiva pueden ser adicionalmente definidos por la consistencia y porosidad.

1.1.2.3 Densidad del suelo

De acuerdo con la FAO (2,019), se refiere al peso por volumen del suelo. Se reconocen dos tipos de densidad del suelo: densidad real y densidad aparente.

a) Densidad Real

De acuerdo con Sandoval (1,989), la densidad real es el peso de suelo seco por unidad de volumen de partículas de suelo, el mismo autor indica que la densidad real de los suelos minerales varía aproximadamente de 2.55 a 2.75 g/cm³ con 2.65 g/cm³ (que es el peso específico del cuarzo) como valor medio aceptable, la densidad real se obtiene con el método del picnómetro, pero para fines de riego y drenaje de tierras agrícolas es suficiente asumir su valor promedio.

b) Densidad Aparente

Es la relación que existe entre el peso del suelo seco y el volumen que ocupa este suelo, incluyendo los poros, se expresa en gramos/centímetro cúbico y los valores medios de densidad aparente van de 1.0 a 1.3 g/cm³ en suelos arcillosos, de 1.3 a 1.6 g/cm³ para los francos y de 0.7 a 1.0 g/cm³ en arenosos (Sandoval, 1,989).

De acuerdo con Sandoval (1,989) la densidad aparente depende de la textura del suelo, pero puede ser modificada por la compactación, cuando se compacta un suelo aumenta su densidad aparente porque se reduce el espacio entre las partículas del suelo disminuyendo el volumen del espacio poroso. El mismo autor agrega que la densidad aparente es una propiedad del suelo que se emplea para el diseño y operación de sistemas de riego debido a que es necesaria para calcular la cantidad de agua (lámina o volumen) a aplicar en un riego, es un factor en la fórmula para determinar la lámina de humedad aprovechable (LHA).

c) Velocidad de Infiltración del agua en el suelo

De acuerdo con Sandoval (1,989), la estructura, textura del suelo, el contenido de humedad del suelo, la compactación, la estratificación, la lámina empleada para la prueba o riego, la temperatura del agua y suelo, y el estado físico-químico del suelo son

los factores que determinan la entrada vertical del agua a través de los poros por unidad de tiempo.

Según indica Sandoval (1,989) la velocidad de infiltración es una de las características del suelo más importantes para el diseño, operación, evaluación de sistemas de riego por aspersión y superficiales, con esta información se puede adecuar las intensidades de aplicación del riego a la velocidad de infiltración del suelo, es por esto que se hace necesario obtener información confiable de esta propiedad, determinar la velocidad de infiltración se considera conveniente efectuarla con métodos de campo que no alteran el estado natural del suelo, el mismo autor indica que el uso del infiltrómetro de doble cilindro se utiliza cuando se va diseñar, operar y evaluar métodos de riego de inundación total y aspersión.

1.2 Constantes de humedad del suelo y cultivo de (*S. officinarum* L.)

1.2.1 Capacidad de campo

Se define como el contenido de humedad que tiene el suelo inmediatamente después de que el agua gravitacional ha drenado, es decir, que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad (Sandoval, 1,989).

El concepto de capacidad de campo es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no existan desperdicios ni falta de agua a la planta (Sandoval, 1,989).

De acuerdo con Sandoval (1,989), el suelo se encuentra a capacidad de campo cuando la mayoría del agua gravitacional se ha perdido, normalmente esto ocurre de dos a tres días después de la aplicación del riego o de la ocurrencia de un evento de precipitación pluvial, en este estado, las plantas pueden extraer agua del suelo fácilmente, de esa manera cada aplicación de riego debe hacerse para recargar el suelo a capacidad de campo, tomando en cuenta una lámina extra que pueda perderse por infiltración.

1.2.2 Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Según Sandoval (1,989), a medida que el suelo se seca, las plantas pueden remover menos cantidad de agua, de esa manera el crecimiento va disminuyendo progresivamente; en el momento en que las plantas no pueden extraer mayor humedad del suelo es cuando éste se encuentra en punto de marchitez permanente.

De acuerdo con Sandoval (1,989) es el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración, al alcanzar el suelo valores de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aun cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua, al medio día, muchas veces las plantas se marchitan, pero luego al enfriarse el día se recuperan, éste es solo un marchitamiento temporal.

1.2.3 Niveles de humedad en el suelo

De acuerdo con Leitón (1,985), del total de agua disponible para la planta, esta solo aprovecha la contenida entre la capacidad de campo (CC) y el punto crítico (PC), mientras que la cantidad de agua comprendida entre el punto crítico y el punto de marchitez permanente (PMP) queda como reserva, constituyendo un margen de seguridad en cuanto a disponibilidad de agua (ver figura uno).

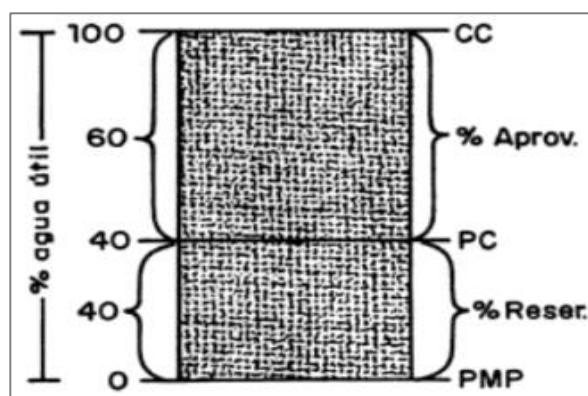


Figura 1. Punto crítico en relación con el agua útil en el suelo.

Fuente: (Leitón, 1,985).

De acuerdo con Silva, Herman, Garrido y Acevedo (2,015) el Déficit Permitido de Manejo o Umbral de Riego es un porcentaje de la Humedad Aprovechable que tiene que consumirse antes de que se riegue de nuevo, la humedad disponible para las plantas es la altura de agua útil que se permite perder antes de regar.

Según CENGICAÑA (2,004) para el cultivo de caña el déficit permitido de manejo es el 60% del agua aprovechable o agua útil. Villegas (1,986) indica que en el cultivo de caña de azúcar generalmente se permite que consuma el 60% del agua fácilmente aprovechable antes de aplicar el riego.

1.2.4 Cultivo de (*Saccharum officinarum* L.)

En un ensayo en un área lisimétrica, en una estación experimental CENGICAÑA (2,012) clasificó las etapas fenológicas del cultivo de (*S. officinarum* L.) en cuatro etapas.

Cuadro 2. Etapa Fenológica del cultivo de (*S. officinarum* L.) observado en un ensayo en un área lisimétrica.

No	Etapa Fenológica		Duración (días)	Acumulado
1	Iniciación (EF-1)		45	
2	Macollamiento (EF-2)		90	135
3	Elongación	A. Elongación Etapa I (EF-3)	115	250
		B. Elongación Etapa II (Ef-4)	65	315
4	Maduración (EF-5)		45	360

Fuente: CENGICAÑA, (2,012).

En el cuadro dos, de acuerdo con CENGICAÑA (2,012) en la etapa fenológica 3 (EF-3) los tallos alcanzan su máximo crecimiento (en promedio 1.95 cms/día). Este período es relevante en el primer tercio de la zafra, luego en el tercer tercio. Dada esta característica se considera a esta etapa como crítica; no se debe permitir estrés hídrico, otras de las etapas consideradas críticas es la etapa inicial (EF-1) debido a una condición de baja humedad en el suelo, la población por metro lineal se reduce.

Según indican Amaya, Cock, Hernández e Irvine (1,995) la zona radicular del cultivo de (*S. officinarum* L.) constituye al anclaje de la planta y el medio para la absorción de nutrientes y de agua del suelo, éstas se originan a partir de las bandas de primordios radicales, localizadas en el anillo de crecimiento del trozo original (estaca o esqueje) que se planta o siembra, la raíces son delgadas muy ramificadas y su período de vida llega hasta el momento en que aparecen las raíces en los nuevos brotes, esto ocurre entre los dos y tres meses de edad, las raíces son numerosas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta, la cantidad, la longitud y la edad de las raíces permanentes depende de las variedades; sin embargo, existen factores ambientales como el tipo de suelo y la humedad que influyen en estas características.

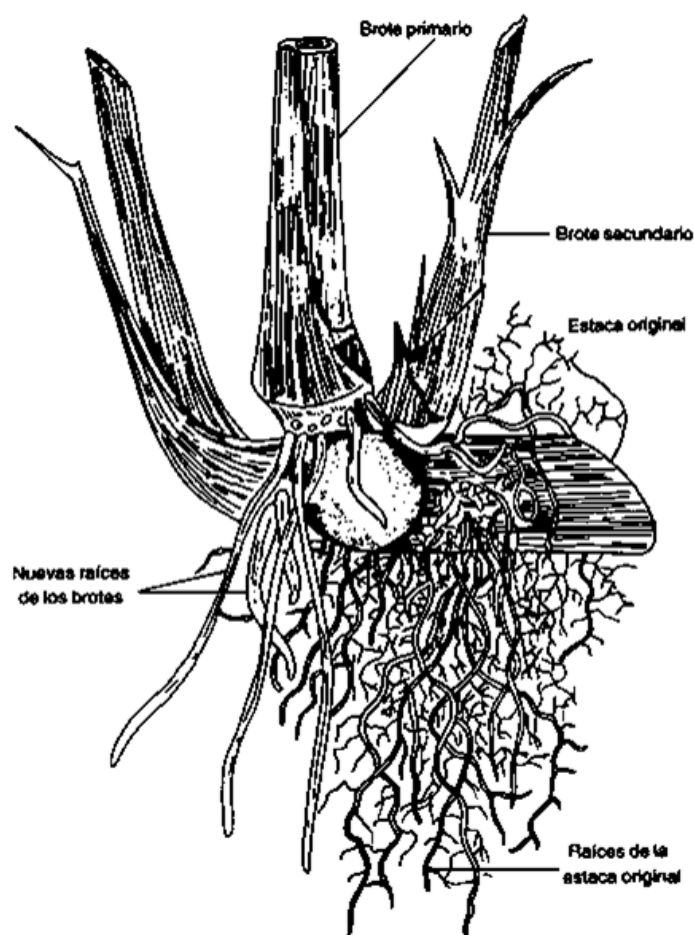


Figura 2. Sistema radicular de la caña de azúcar.

Fuente: Humbert, (1,974).

Los suelos arcillosos pueden reducir la longitud de las raíces, y las variedades con sistema radical más profundo y denso pueden sufrir menos daño en los períodos de sequía. Pero otra parte, la distribución de las raíces es importante para el anclaje de la planta y para la absorción de agua y nutrimentos (CENICANA 1,995).

En la caña de azúcar es difícil distinguir entre las raíces superficiales y las de sostén; además, las raíces profundas son relativamente escasas. De acuerdo con Paz, Vásquez, Iglesias y Sevilla (1,980), al evaluar el desarrollo radical de dos variedades en sitios y en cortes diferentes a edades que variaron desde cuatro hasta 19 meses, encontraron el 85% de las raíces en los primeros 60 cm de profundidad, independientemente de la edad, la variedad y el corte.

1.3 Evapotranspiración

Es definido por Subiros (1,995) como la cantidad de agua evaporada y transpirada por una superficie extensa cubierta por una vegetación baja que se encuentra en pleno crecimiento y sin restricción en el suministro de agua esta se encuentra en estado libre. El clima es el factor que más influye en la magnitud de este valor; en especial, la radiación solar, la temperatura, la humedad ambiental y el viento.

De acuerdo con Fuentes (2,003) citado por Pinto (2,011) existen dos conceptos principales que definen la evapotranspiración: a) la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{T0}), esto es un parámetro que expresa el poder de evaporación de la atmósfera, y b) la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (E_{Tc}). La E_{Tc} se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas, donde existe un excelente manejo en campo, y se logra la máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas.

El E_{Tc} se calcula con la fórmula:

$$E_{Tc} = Kc * E_{T0}$$

Dónde:

Etc = Uso consuntivo.

Kc = Valor tabular que depende de la etapa del cultivo.

Et₀ = Evapotranspiración del cultivo en mm/día.

Según Fuentes (2,003) citado por Pinto (2,011) el valor de (ET_c) se estima a través del enfoque del coeficiente del cultivo, esto incorpora los efectos de las condiciones del tiempo y las características del cultivo, dado por la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET₀) y el coeficiente único del cultivo (K_c) respectivamente.

La demanda climática se determina a través de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET₀), esto es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera CENGICAÑA (2,012). Los únicos factores que afectan la (ET₀) son los parámetros climáticos (FAO, 2,008).

En el cuadro tres, se detallan para cada tercio de zafra y etapa fenológica los valores de (ET₀) estimados a través de Penman-Monteith (CENGICAÑA, 2,012).

Cuadro 3. Valores de evapotranspiración promedio en mm/día según etapas fenológicas, estratos altitudinales y tercios de zafra para las condiciones de la zona cañera guatemalteca.

Estrato	EF-1			EF-2			EF-3			EF-4		
	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
Alto	4.36	4.75	5.00	4.84	5.08		5.16		4.48		4.44	4.45
Medio	4.70	5.30	5.41	5.39	5.54		5.47		4.66		4.60	4.89
Bajo	4.76	5.13	5.74	5.29	5.75	5.69	5.82		4.88		4.83	4.79
Muy bajo	4.31	5.25	5.55	5.35	5.50	4.89	5.18		4.40		4.37	4.59
Litoral	4.51	5.03	5.55	5.14	5.48	5.10	5.28		4.57		4.65	4.63

Fuente: CENGICAÑA, (2,012).

Nota: Evapotranspiración de un cultivo de referencia (E_t) estimado con Penman-Monteith promedio años 2006-2010. La EF-3 en el 2/3 coincide con el invierno. La EF-4 no aplica para el 1/3. EF1 = Etapa Fenológica de Iniciación, EF2 = Etapa fenológica Macollamiento, EF3 = Etapa Fenológica Elongación, EF4 = Etapa Fenológica Maduración.

1/3 = Primero tercio de la zafra del 15 de noviembre al 15 enero.

2/3 = Segundo tercio de la zafra del 16 enero al 15 marzo.

3/3 = Tercer tercio de la zafra del 16 marzo al 15 de mayo.

El coeficiente único del cultivo (K_c) puede variar según las etapas de crecimiento del cultivo (Fuentes, 2,003).

De acuerdo con CENGICAÑA (2,012), con base en la aptitud de la caña de azúcar a evapotranspirar se seleccionan los valores de K_c que sirven para cuantificar las cantidades de agua que estará requiriendo el cultivo en cada etapa fenológica. El cuadro cuatro indica los diferentes valores de K_c seleccionados bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona cañera de Guatemala.

Cuadro 4. Valores de K_c según etapa fenológica y tipo de suelo, seleccionados en la zona cañera de Guatemala.

Textura	Etapas fenológicas (DDC)			
	EF-1 (0-45)	EF-2 (45-135)	Elongación	
			EF-3 (135-250)	EF-4 (250-315)
Kc (aptitud de la caña para evapotranspirar)				
Franco arenosos Franco arcillosos Arcillosos Arena Franca Arena	0.3	0.6	0.9	1
Franco limosos Franco arcillo limosos Francos	0.3	0.3	0.6	0.7
Franco limoso + aporte capilar	0.3	0.3	0.3	0.3

Fuente: CENGICAÑA (2,012).

Nota: Los valores de Kc fueron seleccionados con base en la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación del agua a través del riego. Para tal fin se evaluaron en el proceso de experimentación distintos niveles de Kc en diferentes texturas predominantes de la zona cañera de Guatemala.

EF1 = Etapa Fenológica de Iniciación, EF2 = Etapa fenológica Macollamiento,

EF3 = Etapa Fenológica Elongación, EF4 = Etapa Fenológica Maduración.

DDC = Días después del corte.

1.4 Riego en el cultivo de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

De acuerdo con CENGICANÑA (2,012), la actividad de riego en el cultivo de (*S. officinarum* L.) tiene como objetivo asegurar la población inicial de la caña de azúcar e incrementar el peso de los tallos, para tal fin, se realizan dos tipos de riegos: **riegos pre y pos corte**, la unidad de investigación indica que **riego pre corte** tiene como objetivo asegurar e incrementar el peso de los tallos molederos en la etapa final de la etapa de elongación, en suelos con predominio de arena (francos arenosos) se obtiene incrementos de 27 a 36 TCH, mientras que en suelos con presencia de arcilla (franco arcilloso) incrementos entre 15 y 28 TCH, el **riego pos corte** tiene como objetivo en la etapa de iniciación, asegurar la población optima, así mismo, la eficiencia de las labores de fertilización y control de malezas.

1.5 Levantamiento de suelos

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2,019), el levantamiento de suelos o levantamiento edafológico, es el proceso de determinación de patrón de distribución de suelos.

Los resultados de las descripciones de perfiles, análisis de laboratorio y las áreas que ocupan los suelos estudiados integran la leyenda; de esta forma, el mapa y la leyenda de suelos en conjunto son la memoria del levantamiento (Ortiz, Estrada y Cuanalo, 1,973).

1.5.1 Niveles de levantamiento de suelos

Según establece Young (1,976), existe una jerarquía de tipos de levantamientos de suelos, que varían de acuerdo con su grado de detalle y niveles de generalización, estas variaciones comúnmente se les asocian con la escala, la escala es una relación entre unidades de longitud medidas sobre un mapa y su equivalencia en las mismas unidades sobre el terreno; así, la escala 1:50 000 indica que un centímetro de mapa equivale a 50,000 centímetros en el terreno.

Existen diferentes niveles de estudio, esto se determina de acuerdo al nivel de detalle del mismo (Ortiz y Cuanalo, 1,981).

1.5.1.1 Compilaciones

Son una colección de información de suelos, los mapas están basados en abstracciones de otros levantamientos, mapas en escala de 1:1,000,000 a más pequeñas (Ortiz y Cuanalo, 1,981).

1.5.1.2 Exploratorios

No son levantamientos en sentido estricto, generalmente son recorridos en carretera (o avión) para obtener información de áreas desconocidas, mapas en escala de 1:2,000,000 a 1:500,000 (Ortiz y Cuanalo, 1,981).

1.5.1.3 Reconocimiento

Usa la foto-interpretación como herramienta principal de trabajo, los mapas son en escala de 1:500,000 a 1:250,000 (Ortiz y Cuanalo, 1,981).

Según indica Gómez (1,998), un levantamiento a nivel de reconocimiento se efectúa cuando se desea conocer en forma general, los suelos de un área, región o país y sirve para identificar áreas que necesitan de estudios más profundos, así como para planificación del uso de la tierra, se requiere de las condiciones siguientes: densidad promedio de observaciones detalladas (calicatas) de uno a tres en 100 km², dos

observaciones de identificación (barrenamientos) por cada 3 km² y la escala de publicación del mapa de 1:100,000 a 1:400,000.

1.5.1.4 Semidetallado

Según Gómez (1,998), se realizan en áreas que presentan potencial para uso agrícola, se hace con fines catastrales, para proyectos generales de uso y manejo de la tierra (uso agroforestal, proyectos de asentamientos campesinos, riego y drenaje), las especificaciones para este tipo de levantamientos son: densidad promedio de observaciones de uno a cuatro por km², mapa de publicación en escala de 1:40,000 a 1:20,000.

1.5.1.5 Detallado

Según Gómez (1,998) estos levantamientos se justifican en áreas de alto potencial agrícola que requieren un conocimiento profundo del suelo, tales como: agricultura intensiva, áreas donde se diseñarán proyectos de riego y drenaje o en áreas destinadas a estaciones experimentales (muy detallados), este levantamiento se debe ajustar a las especificaciones siguientes: 15 observaciones por km² y la escala de publicación del mapa de 1:25,000 a 1:2,000.

1.5.1.6 Intensivo

Estos levantamientos se producen con trabajo de campo en forma intensiva. Mapas de publicación en escala mayor de 1:10,000 (Ortiz-Solorio & Cuanalo, 1,981).

1.6 Estudios de suelos con fines de riego

1.6.1 ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE NUTRICION Y RIEGO EN LOS CULTIVOS CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) Y HULE (*Hevea brasiliensis*) EN FINCA EL ROSARIO, CUYOTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ

Gonzáles (2,016) efectuó un estudio de suelos con fines de fertilidad para el cultivo de Hule (*Hevea brasiliensis*) y riegos para el cultivo de Caña de Azúcar (*S. officinarum* L.) a nivel de semi detalle.

Para llevar a cabo el estudio efectuó cuatro observaciones en 60 hectáreas, las dimensiones del punto de observación fueron de 0.60 m de profundidad, un metro de ancho y un metro de largo de suelo homogéneo topográficamente, en este caso se determinó sitios con planicie únicamente.

La densidad aparente promedio de suelos arcillosos fue de 1.14 g/cm³, para suelos franco-arcillosos de 1.21 g/cm³, para suelo franco fue de 1.14 g/cm³ y para suelos franco-arenosos de 1.05 g/cm³.

Las constantes de humedad indican que para suelo arcilloso la capacidad de campo oscila entre 45.06 y 25.22% con punto de marchitez permanente entre 43 y 23.55%, para suelo franco arcilloso la capacidad de campo oscila entre 27.18 y 24.12%, punto de marchitez permanente entre 22.69 y 20.49%, para suelo franco la capacidad fue de 30.23% y punto de marchitez permanente de 24.76% y para suelo franco arenoso la capacidad de campo fue de 31.3 y punto de marchitez permanente de 24.03%.

La frecuencia calculada para suelo franco arcilloso fue de nueve días con lámina de 41.07 mm, para suelos francos la frecuencia calculada fue de 16 días, lámina de 35.81 mm. La velocidad de infiltración en suelo franco fue de 13 mm/h y suelo franco arcilloso con velocidad de infiltración básica de 8.1 mm/h.

1.6.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE SUELOS CON FINES DE MANEJO DE RIEGO, EN FINCA LA CANOA, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS INGENIO PALO GORDO S.A., CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

Monroy (2,018) efectuó un estudio de caracterización física de suelos con fines de riego para el cultivo de caña de azúcar (*S. officinarum* L.) el objetivo de la investigación fue caracterizar las propiedades físicas del suelo con fines de diseño y operación de riego por mini aspersión.

Para efectuar la caracterización los puntos de observación se efectuó reconocimiento de la finca con un recorrido, esto permitió identificar sitios homogéneos conforme la textura determinada al tacto, se efectuó un punto de observación por cada 20 hectáreas en zonas homogéneas, los puntos de observación tuvieron 60 centímetros de profundidad, 50 centímetros de largo y 50 centímetros de ancho, de cada punto de muestreo se obtuvieron muestras a cada 20 centímetros de profundidad hasta llegar a 60 centímetros, el análisis de las propiedades físicas fue efectuado en laboratorio de suelos.

La densidad aparente obtenida fue diferente para cada textura, para franco-limoso fue de 1.18 g/cm^3 , para suelos arcilloso 1.18 g/cm^3 .

Las constantes de humedad obtenidas del estudio indicaron que para suelos arcillosos la Capacidad de Campo oscilaba entre 26.12 a 35.26%, el Punto de Marchitez Permanente oscilaba entre 22.31 y 33.58%, para suelos arcillo-limosos la Capacidad de Campo oscilaba entre 22.31 a 33.58%, el Punto de Marchitez Permanente oscilaba entre 11.65 y 19.78%.

La frecuencia de riego se calculó para etapa fenológica Macollamiento y Elongación del cultivo de (*S. officinarum* L.). En suelos arcillosos para la etapa de macollamiento se calculó una frecuencia de once días con un valor de K_c de 0.4, Etapa de elongación frecuencia de 8 días con un K_c de 0.9.

También se efectuaron pruebas de infiltración básica del suelo en cada clasificación conforme la textura del suelo, la velocidad de infiltración básica fue de 1.94 mm/h en suelos con textura arcillosa y 4.32 en suelos con textura arcillo-limoso.

1.6.3 ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN LAS FINCAS DE LA ZONA DOS DEL INGENIO PALO GORDO, SUCHITEPÉQUEZ

Cano (2,017) efectuó un estudio de suelos a nivel de semi detalle en fincas de zona 2 del Ingenio Palo Gordo. Para efectuar el estudio en las fincas realizó una preclasificación de suelos de acuerdo con el color de suelo y topografía.

Se ubicó un punto de observación por cada 50 hectáreas en estudio, las dimensiones del punto de observación fueron de 0.60 m de profundidad, 0.5 m de ancho y 0.5 m de largo, en cada punto de muestreo se extrajo un kilogramo de suelo por horizonte del punto de observación.

Los valores de Kc utilizados para la etapa fenológica de elongación fueron de 0.90 y Macollamiento con Kc 0.85 en todas las fincas en estudio.

En las fincas Los Patos y Naranjales con suelos arcilloso, suelo franco y franco arcillo-arenoso, se obtuvo distinta frecuencia de riego, en suelo arcilloso la frecuencia de riego fue de once días, para suelo franco arcillo-arenoso de nueve días y franco de ocho días. La infiltración básica del suelo arcilloso fue de 21.11 mm/h, en suelo franco de 26.98 mm/h y suelos franco arcillo arenoso de 33.5 mm/h.

En finca Monte María, con suelos de textura arcillosa y franco-arenoso se obtuvo distinta frecuencia de riego, en suelo arcilloso la frecuencia de riego calculada fue de ocho días y para suelo franco-arenoso frecuencia de seis días.

En finca Laguna Verde, los suelos con textura franco-arcilloso, la frecuencia de riego calculada fue de once días y en suelos con textura franca la frecuencia de riego calculada fue de nueve días.

En finca Doña Estela el suelo es de textura arcilloso y franco-arcilloso, la frecuencia de riego calculada fue de diez días y suelos franco-arcillosos la frecuencia fue de siete días.

Las constantes de humedad Capacidad de Campo en suelos francos fueron de 13.62% a 27.42%, en suelos franco-arenosos entre 9.77 a 20.11%, en suelos arcillosos el rango el rango es entre 14.49 a 30.83%. El punto de marchitez permanente, en suelos franco-arenosos el rango fue de 15.45 a 32.31%, en suelos francos entre 26.84 a 31.51%, en suelos franco-arcillosos entre 30.13 a 48.55% y en suelos arcillosos entre 28.71 a 42.02%

La densidad aparente promedio del suelo en textura franco-arenosa fue de 1.25 g/cm³, en suelos francos de 1.26 g/cm³, en suelos franco-arcillosos la densidad aparente promedio fue de 1.24 g/cm³, en suelos arcillosos de 1.04 g/cm³.

Para identificar zonas de cada finca con características obtenidas del estudio se efectuaron mapas temáticos.

2 Marco Referencial

2.1 Ubicación de finca Pachonté

Finca Pachonté se encuentra ubicada a siete kilómetros al sur de la ciudad de Mazatenango, Suchitepéquez.

2.2 Área de finca Pachonté

El área total es de 825.85 hectáreas, de las que 575.53 hectáreas se cultiva con caña de azúcar (*S. officinarum* L.), el resto del área corresponden a calles, canales de drenajes y sitios no aptos para cultivar.

2.3 Zona de vida

De acuerdo con la clasificación ecológica de Holdridge (1,977), finca Pachonté se encuentra en una zona de vida denominada: Bosque muy húmedo subtropical cálido.

Según SEGEPLAN (2,001), esta zona de vida presenta precipitaciones pluviales mínimas de 2,136 mm/año, máximas de 4,327 mm/año, con un promedio de 3,284 mm/año; la elevación oscila entre 80 a 1,600 msnm, de acuerdo con Trujillo (2,017) la temperatura mínima es de 17°C y una máxima de 38°C, SEGEPLAN (2,001) indica que su relieve topográfico es accidentado, los cultivos principales son: caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), banano (*Musa* sp.), café (*Coffea* sp.), hule (*Hevea brasiliensis*), cacao (*Theobroma cacao*), cítricos (*Citrus* sp.), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), arroz (*Oriza sativa*), citronela (*Cymbopogon* sp.) y ganadería.

2.4 Suelo de Pachonté

De acuerdo con mapa de clasificación de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala elaborado por SIAP-CENGICAÑA, Pachonté se encuentra ubicado en el orden de suelos Andisoles, son suelos poco evolucionados derivados de ceniza volcánica, oscuros, con altos contenidos de materia orgánica, de baja densidad aparente y consistencia friable a suelta.

Debido a que los suelos de Pachonté son de origen volcánico corresponden al orden Andisol (SIAP-CENGICAÑA). Dentro de sus propiedades mineralógicas, la arcilla dominante bajo estas condiciones es la alófana que es un coloide amorfo e hidratado, aparece en esos sistemas como producto obligatorio de la descomposición de las cenizas volcánicas zonas húmedas (Bertsch, Mata y Henríquez, 1,993).

De acuerdo con Bertsch, Mata y Henríquez (1,993) la arcilla dominante bajo estas condiciones es la alófana que es un coloide de características muy particulares, amorfas e hidratadas, que aparece en esos sistemas como producto obligatorio de la descomposición de las cenizas volcánicas en zonas húmedas; la alófana es una arcilla inestable, o sea muy reactiva, de modo que imprime comportamientos peculiares a

estos suelos, los mismos autores indican que la alófana en busca de mayor estabilidad se hidrata, se liga a la materia orgánica formando complejos organominerales difíciles de descomponer y fija aniones, también indican que en posiciones de relieve intermedio, donde la época seca es marcada, la alófana forma una arcilla cristalina llamada haloisita. Tanto la materia orgánica como la alófana son materiales muy afines al agua, por esa razón son suelos que retienen más de su peso en agua.

2.5 Vías de acceso

La comunicación vial más importante es por medio de la carretera asfaltada que comunica a la aldea San Rafael Tierras del Pueblo con Mazatenango, cabecera departamental de Suchitepéquez, la distancia partir del parque central hasta el ingreso a la finca es de 7.7 kilómetros.

2.6 Ubicación geográfica de finca Pachonté

Pachonté se localiza a $14^{\circ}29'30''$ latitud Norte y a $91^{\circ}32'10''$ longitud Oeste. La finca se encuentra ubicada dentro de la cuenca Sís-Icán (ver figura tres).

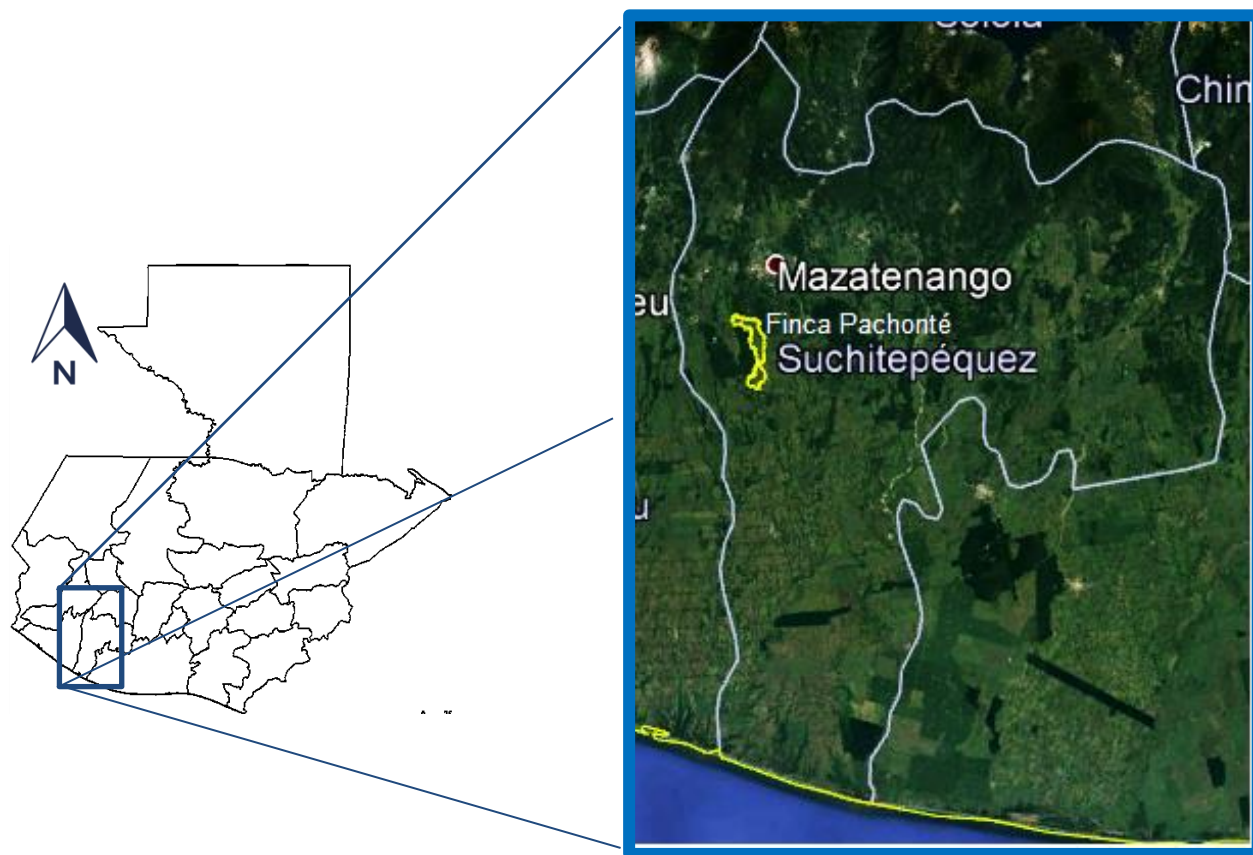


Figura 3. Finca Pachonté en el mapa de Guatemala y departamento de Suchitepéquez.

Fuente: Google Earth.com

2.7 Croquis de Pachonté

El croquis se presenta en dos partes, de acuerdo con el plano administrativo de la finca elaborado por la sección de Diseño de Campo de Palo Gordo (ver figura cuatro y cinco).

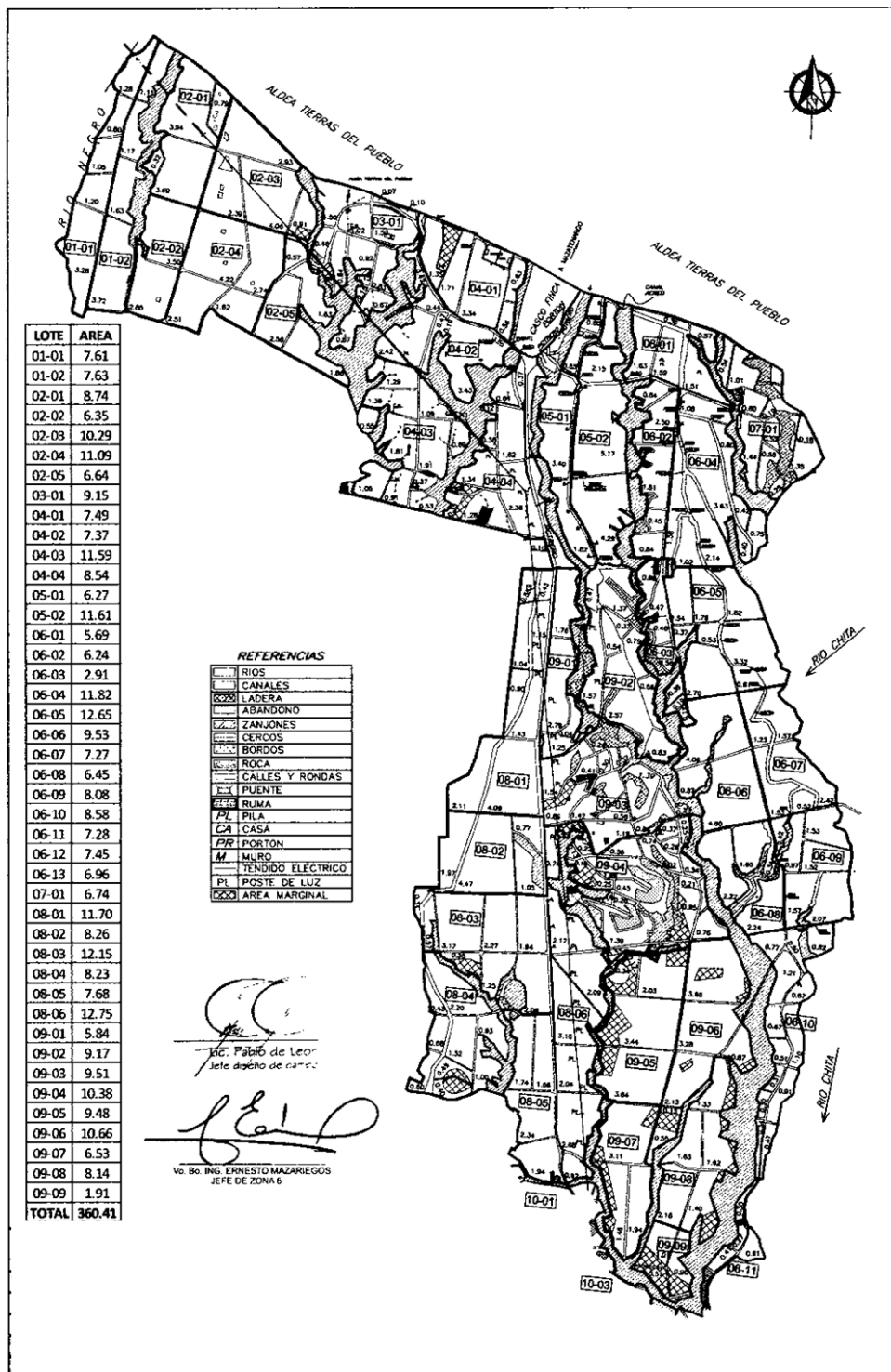


Figura 4. Plano administrativo de finca Pachonté (1 de 2).

Fuente: Departamento de Ingeniería agrícola, sección diseño de campo, Ingenio Palo Gordo.

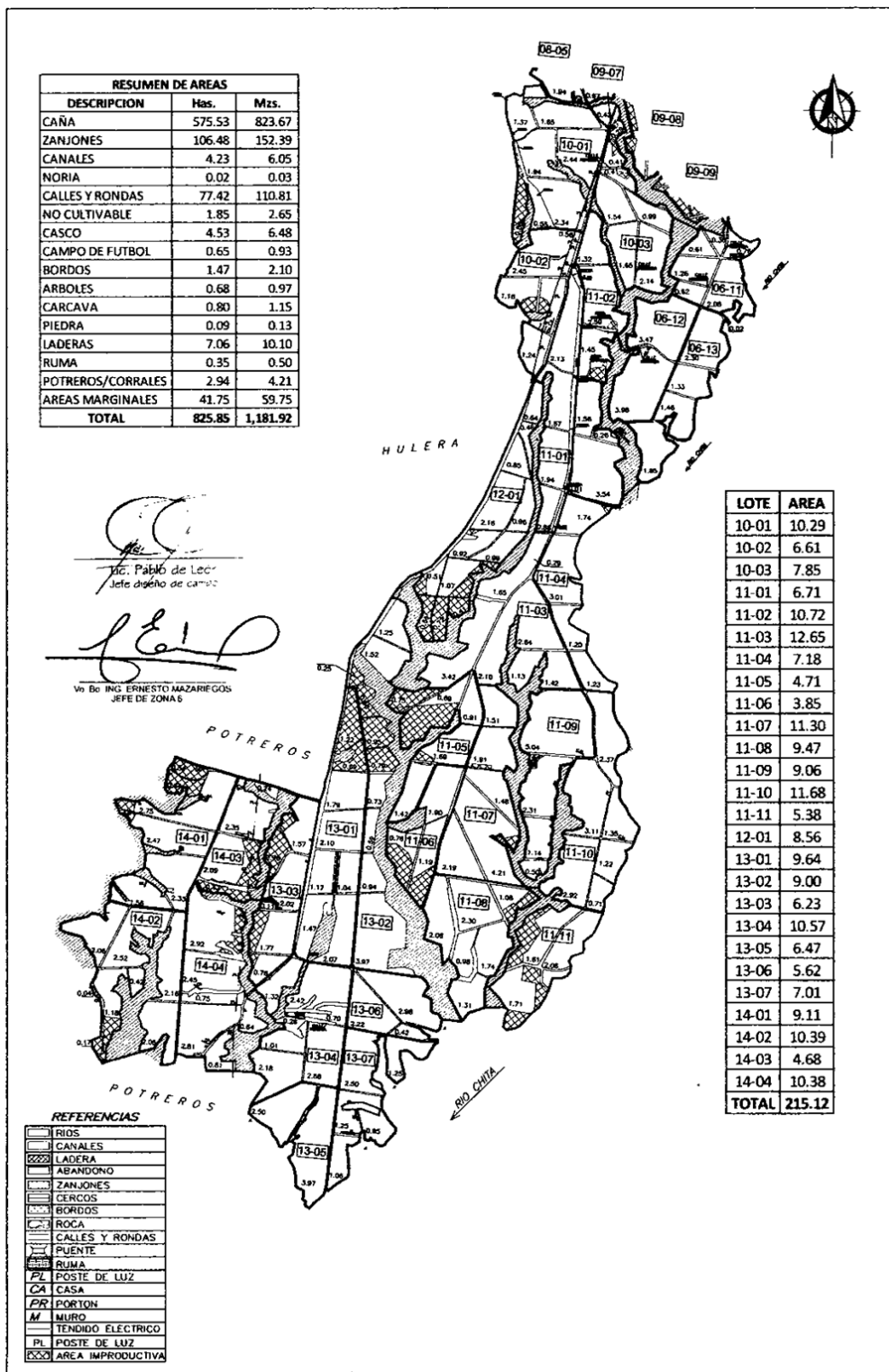


Figura 5. Plano administrativo de finca Pachonté (2 de 2).

Fuente: Departamento de Ingeniería agrícola, sección diseño de campo, Ingenio Palo Gordo.

2.8 Riego en finca Pachonté

2.8.1 Sistemas y frecuencias de riego

Actualmente el riego se realiza mediante dos sistemas de riego presurizados: aspersión y mini aspersión. La descripción de cada tipo de riego se indica en el cuadro cinco.

Cuadro 5. Descripción de los sistemas de riego en Pachonté.

Característica	Riego por aspersión	Riego por mini aspersión
Tipo de sistema de riego:	Móvil	Semi fijo
Emisores	Nelson F100 y Komet 101	Senninger 3023 turquesa
Presión de operación Kg/cm ²	3.87	2.81
Tamaño de boquilla	21 mm	No. 10
Distancia entre laterales (m)	45	12
Distancia entre emisores (m)	45	18
Área de cobertura por emisor (ha)	0.2025	0.0216
Tiempo de riego (horas)	3	11
Área por turno (ha)	0.81	2.85
Turnos por día	2	2
Número total de turnos	6	2
Caudal de operación (m ³ /h)/turno	117.68	132
Emisores en operación simultáneamente	4	132
Caudal del emisor (m ³ /h)	29.42	1
Fuente de energía	Diesel	Diesel
Tipo de tubería móvil	Aluminio	Aluminio
Diámetro de tubería móvil (cm)	15.24 (6")	7.62 (3")
Intensidad de aplicación (mm/h)	14.53	4.64

Fuente: Autor (2,019).

La frecuencia de riego en Pachonté es distinta entre una temporada y otra, esto se ve influenciado por la actividad de cosecha, mecanización de suelos, presencia de lluvias,

fallas mecánicas, entre otras actividades. El cuadro seis, detalla la frecuencia con la que se regó durante la temporada 2,017-2,018 en Pachonté.

Cuadro 6. Frecuencia de riego de cada equipo en Pachonté durante la zafra 2,017-2,018.

Sistema de Riego	Código de equipo	Fecha Inicio de riego	Fecha fin de riego	Días de actividad	Número de riegos	Frecuencia de riego (días)
Aspersión	P8022	12/12/2017	10/03/2018	88	5	19
	P8036	3/01/2018	27/02/2018	55	3	21
	P8432	22/01/2018	29/03/2018	66	4	16
	P8433	22/12/2017	28/02/2018	68	4	18
Promedio:					4	18
Mini aspersión	PR-703	6/12/2017	28/03/2018	112	8	14
	PR-706	20/12/2017	29/03/2018	99	8	13
Promedio:					8	14

Fuente: Adaptado por el Autor (2,019) de los datos del Ingenio Palo Gordo.

La frecuencia utilizada como referencia para el sistema de riego por aspersión fue de 18 días con cuatro riegos promedio y 14 días para el sistema de riego por mini aspersión con ocho riegos promedio durante la zafra 2,017-2,018.

La variación en la frecuencia de riego en cada equipo de riego se debe a la existencia de humedad en el suelo por precipitaciones esporádicas en la finca, el personal disponible para la operación de los equipos de riego también influye sobre este aspecto.

2.8.2 Período de riego en el cultivo de (*S. officinarum* L.) en Pachonté

El inicio y finalización de la temporada de riego está directamente relacionada con la presencia o ausencia de lluvias. El riego en Pachonté se prolonga en los tres tercios de zafra definidos por CENGICAÑA (2,012), esto indica que el primer tercio de la zafra corresponde del 15 de noviembre al 15 de enero, el segundo tercio del 16 de enero al 15 de marzo y el tercer tercio del 16 de marzo al 15 de mayo.

El riego pre corte en el cultivo de (*S. officinarum* L.) en Pachonté inicia en la primera semana de diciembre cuando los días después del último corte oscila entre 230 y 334 días, de acuerdo a la clasificación de CENGICAÑA (2,012), las etapas fenológicas a las que corresponde son: Elongación I y II y Maduración.

El riego pos corte inicia en la segunda semana de enero, finaliza en la primera semana de abril, cuando la edad del cultivo está entre cero y 90 días, de acuerdo a la clasificación de CENGICAÑA (2,012), las etapas fenológicas a las que corresponde son: Iniciación y Macollamiento.

2.8.3 Costo del riego en Pachonté

La operación de los sistemas de riego por aspersión y mini aspersión implica el uso de mano de obra y maquinaria. El costo por hectárea de cada sistema de riego de acuerdo con el Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Palo Gordo puede ser estimada de forma tarifaria. El costo por temporada con riego por aspersión cañón es Q.405.92 menor que el costo/Ha de regar con mini aspersión (ver cuadro siete), la razón de utilizar riego por mini aspersión es debido a la eficiencia de aplicación de agua al cultivo, es decir, el agua se aplica con bajas descargas durante mayor cantidad de horas por posición de funcionamiento.

Los dos equipos de riego por mini aspersión son rentados, el costo/Ha es tarifario al igual que en los sistemas por aspersión incluye el combustible para su funcionamiento.

Cuadro 7. Costo tarifario por hectárea en el riego aspersión cañón y mini aspersión.

Rubro		Costo/Ha	
		Aspersión	Mini aspersión
Mano de obra			
	Peón de labores varias	Q6.05	Q6.05
	Ayudante de Riego	Q102.19	Q107.53
	Operador de moto-bomba	Q52.96	Q0.00
	Caporal de primera	Q6.61	Q3.48
	Operador de tractor (traslado de equipo)	Q16.20	Q16.20
	Operador de tractor (traslado de tubería)	Q6.73	Q0.03
	Total mano de obra	Q190.73	Q133.29
Depreciación de maquinaria			
	Tanques para combustible	Q0.74	Q0.74
	Carretón porta tubería	Q1.32	Q0.26
	Tractores de 0-100 HP (movimiento de equipo)	Q2.95	Q2.95
	Tractores de 0-100 HP (movimiento de tubería)	Q2.95	Q2.95
	Moto-bombas de aspersión (incluye combustible)	Q193.77	Q658.18
	Motores de llenado de tanques de combustible	Q0.63	Q0.63
	Total maquinaria	Q202.36	Q665.72
	Total costo/Ha	Q393.09	Q799.01
	Área total (Ha) regada temporada 2,017-2,018	1,239.93	2,176.10
	Costo de temporada 2,017-2,018	Q.855,403.15	Q.990,716.47
	Costo Total temporada de riego 2,017-2,018		Q.1,846,119.62

Fuente: Adaptado por el Autor (2,019) de la información del departamento de Ingeniería Agrícola, Ingenio Palo Gordo, (2,019).

Los cuatro equipos de riego por aspersión pertenecen al Ingenio Palo Gordo, el costo de cada equipo es de Q.430,080.00, es decir el monto total de inversión de los cuatro equipos es de Q.1,720,320.00.

El cálculo de la depreciación se efectúa usando el método de línea recta, que consiste en aplicar sobre la base de cálculo un porcentaje anual, fijo y constante (Vesco.com, 2,019).

De acuerdo con el departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Palo gordo, la depreciación para los equipos de riego es efectuados de forma lineal, el porcentaje anual de depreciación fijo para cada equipo es del 10%, es decir, después de diez años

los equipos deben estar totalmente depreciados, de acuerdo con lo anterior, cada temporada de riego tiene un cargo de depreciación de Q.172,032.00.

2.9 Cultivo de (*Saccharum officinarum* L.) en Pachonté

2.9.1 Variedades de (*S. officinarum* L.) en Pachonté

Las variedades que actualmente se cultivan en Pachonté se describen a continuación:

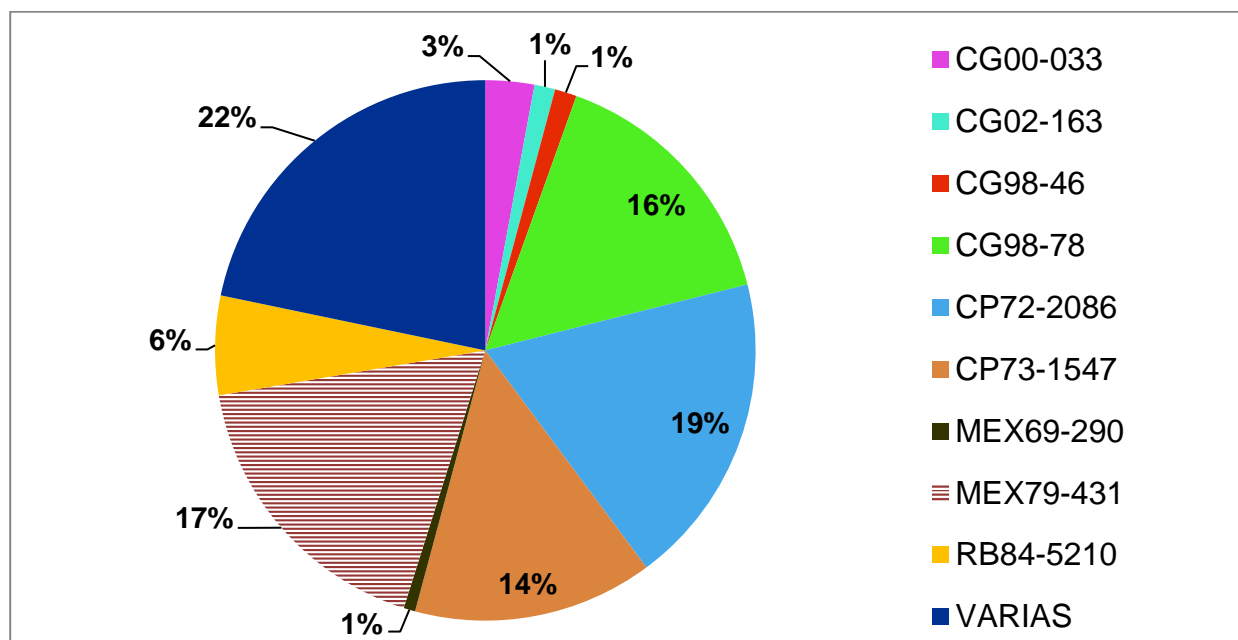


Figura 6. Variedades de (*S. officinarum* L.) que se cultiva en Pachonté.

Fuente: Sección Diseño de Campo, Ingenio Palo Gordo S.A, (2,019).

De acuerdo con la figura seis, el 66% del área de finca Pachonté es cultivado con las variedades MEX79-431, CP73-1547, CP72-2086 y CG98-78, el 22% del área es cultivado con varias variedades como parte de ensayos experimentales de Palo Gordo y el 12% corresponde a otras variedades.

De acuerdo con SAGARPA (2,016) la variedad CP72-2086 es una planta de crecimiento erecto, verde con vetas color vino, de floración temprana, tallos molederos de tres metros considerados como medianos, cuenta con hojas largas de 1.64 metros,

resistente al carbón y a la roya, susceptible al ataque de barrenadores, tiene un rendimiento medio potencial de 115 toneladas por hectárea, CENGICAÑA (2,016) indica que la variedad CP72-2086 es una variedad de maduración intermedia.

De acuerdo con SAGARPA (2,016) la variedad MEX79-431 posee tallos molederos de 3.4 metros considerados como medianos y hábito de crecimiento intermedio, presenta hojas consideradas como largas de hasta 1.86 metros y seis centímetros de ancho, de color verde amarillento, entrenudo de forma cilíndrica en zig zag, resisten la sequía, presenta floración escasa a regular, rendimiento de campo a nivel experimental en plantilla y soca de 193 y 173 t/ha respectivamente.

La variedad CP73-1547 es una variedad de maduración temprana (CENGICAÑA 2,012). Su tallo generalmente supera a la dimensión de grueso (31 mm); por su longitud es caña alta, superando muy fácilmente los 2.5 metros en sus tallos molederos, su crecimiento es erecto, alcanza los 15 tallos molederos por metro lineal (Melgar, 2,012).

La variedad CG98-78 es una variedad de maduración natural intermedia-tardía y por lo tanto apropiado para el segundo y tercer tercio de la zafra, el tipo de maduración natural se basa en su curva de maduración natural y en la baja incidencia de floración y corcho durante los meses de zafra (Orozco, 2,016).

2.9.2 Edad del cultivo de (*S. officinarum* L.) en Pachonté

El número de cortes que se le ha realizado al cultivo en cada lote de la finca es el indicador de la edad del cultivo por tal razón la edad se presenta en la figura siete.

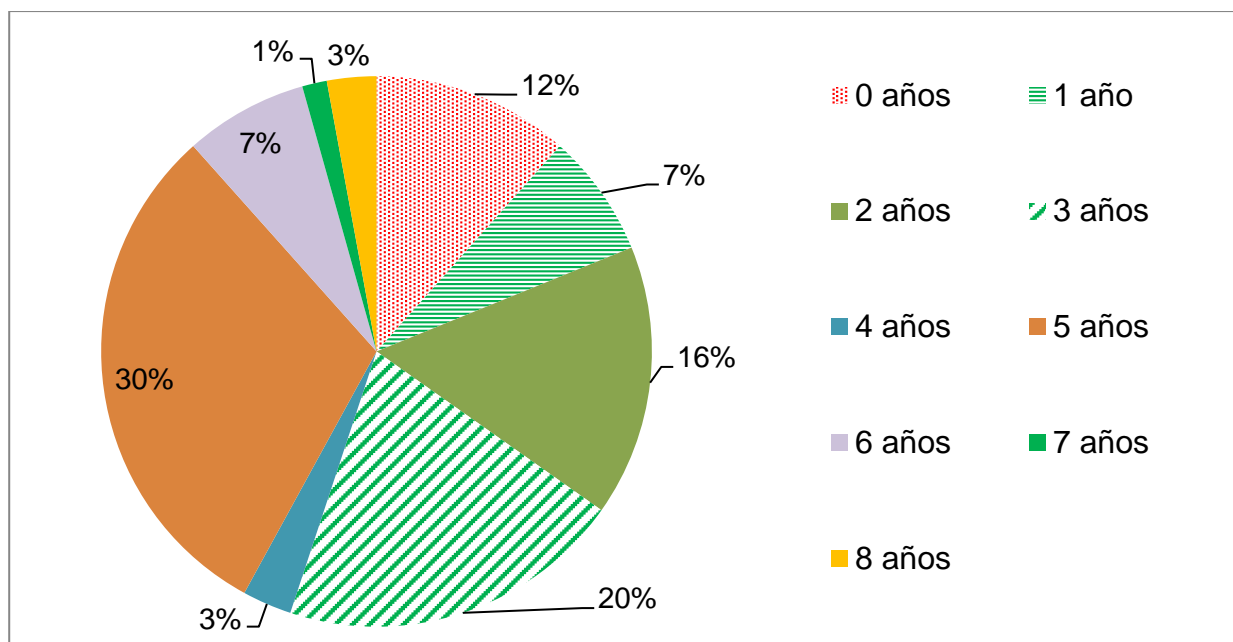


Figura 7. Edad del cultivo de (*S. officinarum* L.) en Pachonté.

Fuente: Sección Diseño de Campo, Ingenio Palo Gordo (2,019).

De acuerdo con la figura siete, para la zafra 2,018-2,019 el 88% de la finca presenta cultivo con edad entre cero a cinco años, mientras el otro 12% sobrepasan los cinco años.

2.9.3 Cosecha y rendimiento de (*S. officinarum* L.) en Pachonté

La cosecha del cultivo se realiza aproximadamente a partir de la primera semana de enero con el corte del cultivo cuyos días después del último corte sobrepasan los 300 días, continúa en marzo y finaliza la última semana de abril (puede fluctuar conforme las condiciones climáticas u otros imprevistos).

El rendimiento del cultivo en la finca es diferente en las distintas zafras, en la figura ocho ilustra el comportamiento de este durante las últimas cinco zafras.

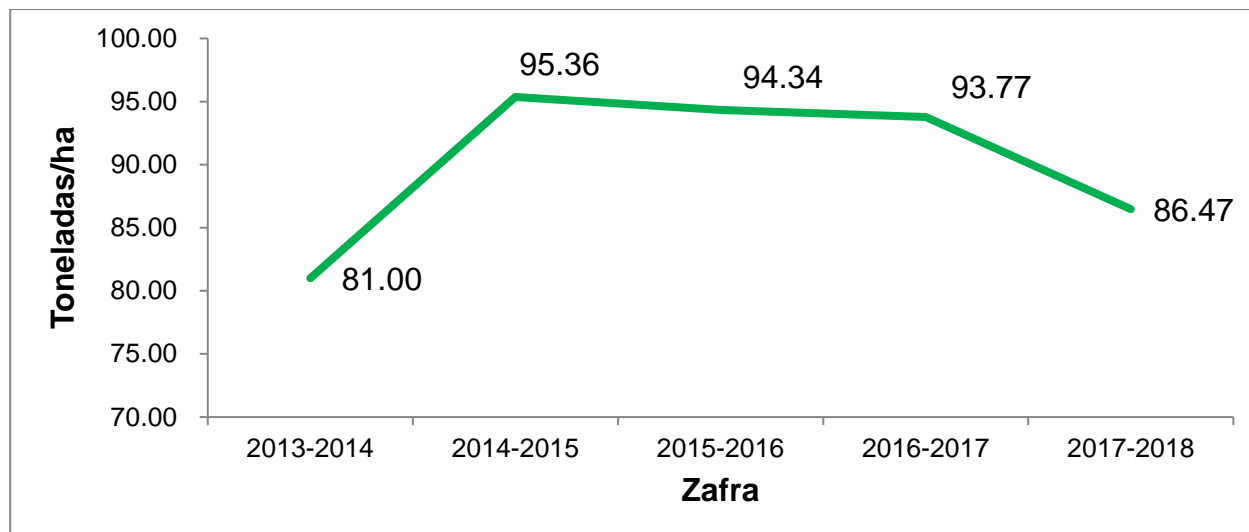


Figura 8. Rendimiento de caña de azúcar en Pachonté del 2,013 a 2,018.

Fuente: Sección Diseño de Campo, Ingenio Palo Gordo (2,019).

De acuerdo con el departamento de ingeniería agrícola de Palo Gordo, el rendimiento promedio de Pachonté descendió en 7.3 ton/Ha en la zafra 2,017-2,018, es decir un 7.78% con respecto a la zafra 2,016-2,017.

La razón del descenso del rendimiento del cultivo de (*S. officinarum* L.) es un efecto sinérgico de la recesión en la inversión en el cultivo producto de la depreciación del azúcar en el mercado internacional. Esto afecta directamente en el presupuesto asignado para cada finca y oportuna ejecución de las distintas labores agrícolas en finca Pachonté,

Entre los problemas que se presentaron durante la zafra 2,018-2,019 fue el control del umbral de daño económico de chinche salivosa (*Aeneolamia* sp.), también existieron problemas con plaga de saltón coludo (*Saccarosydne saccharivora*), existió una reducción del número de riegos por temporada y falta de renovaciones de plantaciones mayores de cinco años.

La figura nueve, ilustra el comportamiento del rendimiento en finca Pachonté durante la zafra 2,017-2,018, al norte el 19% del área de la finca obtuvo rendimiento arriba de 100

ton/Ha, esto se debe a que el cultivo fue renovado en la zafra 2,017-2,018, el 20% en la zona central de Pachonté presenta rendimientos entre 50 y 75 ton/Ha debido a las frecuencias de riego de 21 días y problemas del control del umbral de daño económico de plagas en esta zona; el 61% del área de Pachonté distribuidos en la parte norte y sur de la finca presenta rendimientos entre 75 y 100 ton/Ha.

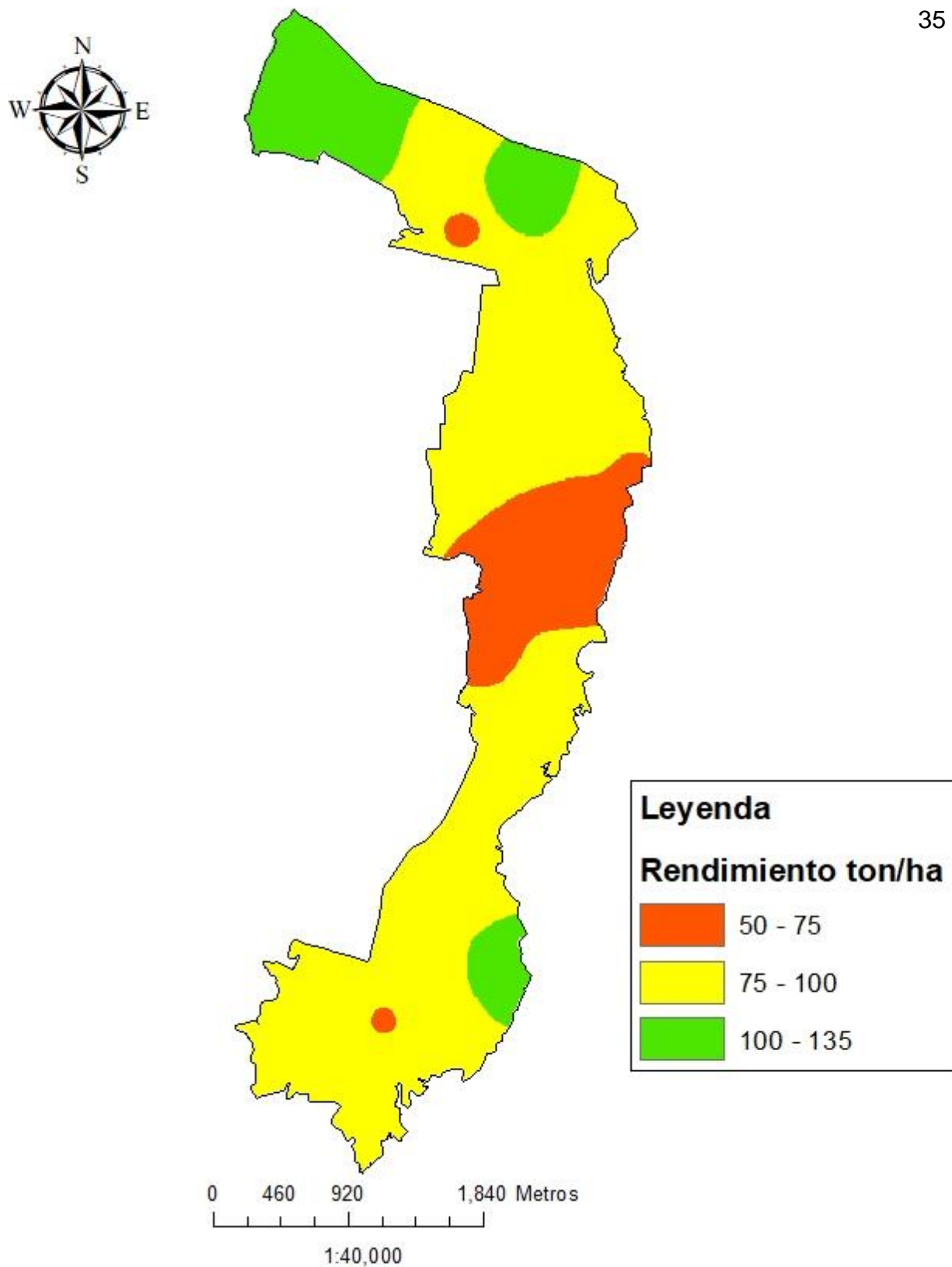


Figura 9. Mapa de rendimiento en finca Pachonté.
Fuente: Sección diseño de campo, Ingenio Palo Gordo.
***Zafra 2,017-2,018.**

III. OBJETIVOS

General:

Efectuar un estudio semidetallado de suelos con fines de riego en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en finca Pachonté, Mazatenango, Suchitepéquez.

Específicos:

- Determinar las características físicas y constantes de humedad que se relacionan con el manejo del riego.
- Analizar el manejo de los suelos con fines de riego mediante la interpretación de mapas temáticos.
- Comparar el costo de operación y gasto de agua del manejo técnico obtenido del estudio con el manejo actual.

IV. HIPÓTESIS

Existen zonas en Pachonté que requieren de diferente manejo de riego y racionalización del agua en relación con el manejo actual.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Materiales

1.1 Insumos

- 42 bolsas plásticas transparentes.
- 42 etiquetas de papel bond de 4 cm de largo x 2.5 cm de ancho.
- 1 cinta adhesiva transparente de 2.5 cm de ancho.
- 1 lápiz.
- 1 lapicero.
- Hojas bond limpias.
- 1 cinta de aislar.
- 3 piezas de Nylon de 1.5 m x 1.5 metros.
- Combustible.

1.2 Equipo

- 1 pala.
- 1 piocha.
- 1 machete.
- 1 computadora.
- 1 pieza de madera maciza rectangular de 60 cm de largo, 15 cm de ancho y 15 cm de altura.
- 1 libreta de campo.
- 1 balanza.
- 1 Pick-up.
- 1 regla geométrica de 30 cm.
- 1 tijera.
- 1 cinta métrica metálica.
- 1 mazo.
- Juego de cilindros de metal de 1.5 mm de grosor, de 50 y 30 cm de diámetro respectivamente por 30 cm de altura.

- 2 mapas impresos.
- 1 computadora.
- 1 aparato de Sistema de Posicionamiento Global.
- 1 mapa geo referenciado en digital.
- 1 recipiente cilíndrico de 215 litros “tonel”.
- 1 recipiente cilíndrico de 18.9 litros.
- 1 manguera flexible de 6 cm de diámetro x 3 metros de largo.

1.3 Recurso Humano

- Estudiante de EPS.
- Ingenieros en calidad de asesores.
- Colaboradores de campo.

1.4 Metodología

1.4.1 Fase preliminar

1.4.1.1 Ubicación de puntos de muestreo

Se determinó los elementos del paisaje, según indica Villota (1,997), se puede distinguir Terrazas dentro del paisaje de Planicie o Llanura Aluvial y Lomas dentro del paisaje de Altillanuras. La cantidad de puntos de observación fue de una trinchera de 0.60 m³ por cada 25 hectáreas en cada elemento del paisaje (Gómez, 1,998).

Se obtuvieron 42 muestras de suelo debido a que cuatro puntos de observación presentaron un solo horizonte en el estrato de 0 – 60 centímetros de profundidad; estos puntos con un horizonte corresponden a zonas con suelos profundos que sobrepasan el horizonte arable del suelo para el cultivo de caña de azúcar en finca Pachonté. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de CENGICAÑA para efectuarles análisis físicos de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente y textura.

En la figura ocho, el punto número cuatro corresponde a la observación efectuada a sitios con lomas los otros corresponden a terrazas.

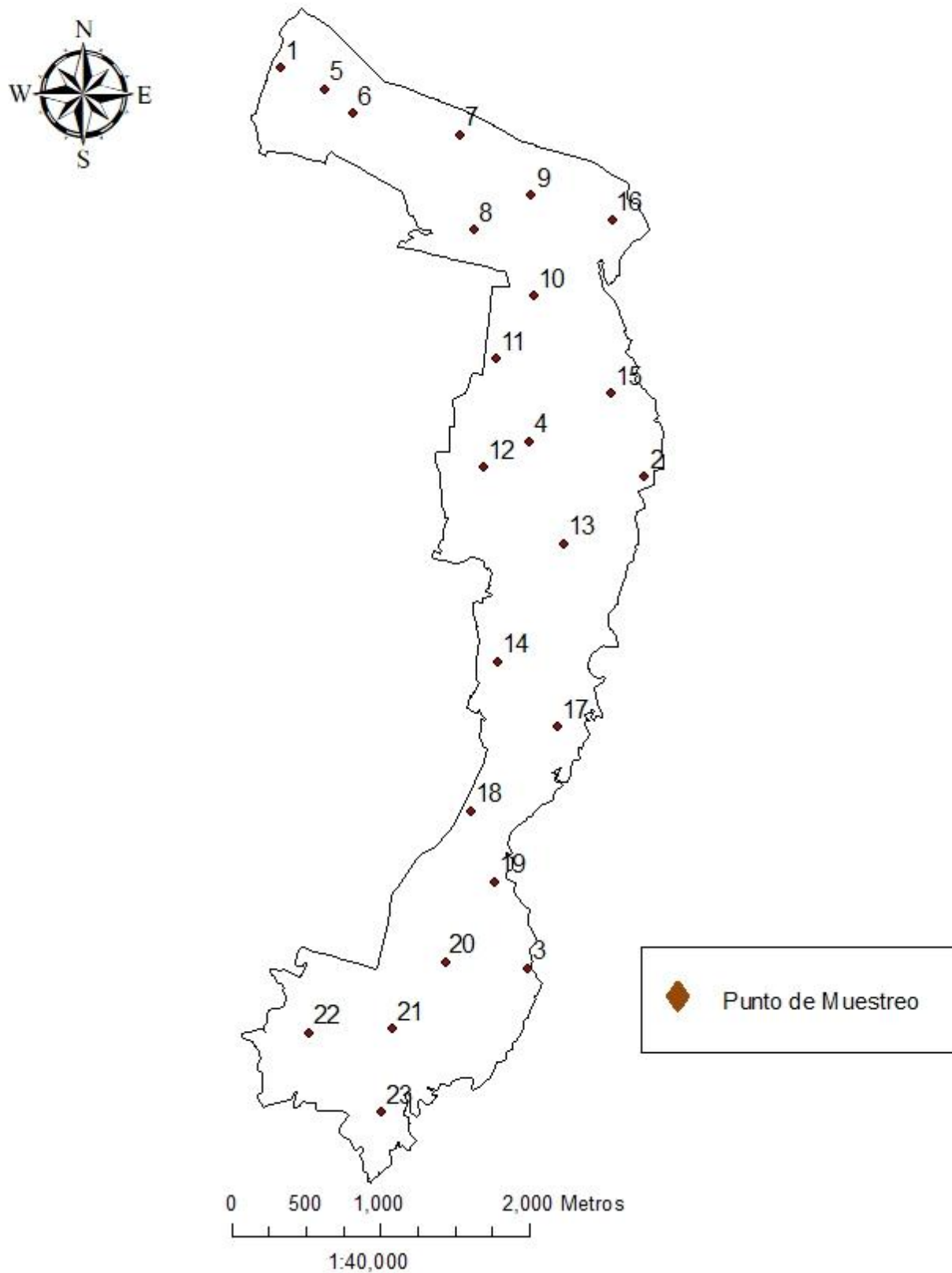


Figura 10. Puntos de muestreo en finca Pachonté.

Fuente: Autor (2,019).

1.4.1.2 (E_{t0}) y (K_c) para el cultivo de (*S. officinarum* L) en Pachonté

Los valores de evapotranspiración potencial (E_{t0}) y aptitud del cultivo para evapotranspirar (K_c) (ver cuadro ocho) se ajustan a la dinámica del riego, condiciones climáticas y etapa fenológica del cultivo en Pachonté. Los valores fueron obtenidos de CENGICAÑA (2,012).

Cuadro 8. Valores de E_{t0} y K_c para el cultivo en riego pre corte y pos corte en finca Pachonté.

Período de riego	E_{t0} (mm/día)	K_c	E_{tc} (mm/día)
Pre corte	5.47	1.0	5.470
Pos corte	5.54	0.6	3.324

Fuente: Autor (2,019).

1.4.2 Fase de campo

1.4.2.1 Obtención de muestras de suelo para determinación de constantes de humedad

Una vez definidos los puntos de muestreo se extrajeron en cada punto las muestras de suelo de la siguiente manera:

- ✓ Se ubicaron en el campo los puntos marcados en el mapa.
- ✓ Se eliminó cobertura del suelo que impidiera efectuar el punto de observación.
- ✓ Se excavó una trinchera de 0.60 m³ para verificar los horizontes del suelo.
- ✓ Se midió la profundidad de cada horizonte de suelo dentro de la trinchera y se anotaron los datos de estructura y consistencia del suelo.
- ✓ Se colectó una muestra de dos kilogramos suelo en cada horizonte del punto de observación.
- ✓ Se geo-referenciaron los puntos de observación con un aparato de Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés).
- ✓ Se trasladaron las muestras de suelo al casco de la finca dónde se efectuó lo siguiente:
 - Se secaron al aire las muestras de suelo.

- Se midió un kilogramo de suelo seco y se colocó dentro de bolsas plásticas transparentes.
- Se etiquetó para identificar cada muestra, el formato de la etiqueta a solicitud de CENGICAÑA fue el siguiente:



Figura 11. Formato de etiqueta de muestras de suelo.

Fuente: Autor (2,019).

- ✓ Se trasladaron las muestras al laboratorio de suelos de CENGICAÑA.
- ✓ Se envió un libro de Excel vía electrónica a CENGICAÑA con los datos concernientes a las muestras (profundidad de muestreo, coordenadas del punto de observación, código de muestra, código de lote, correlativo).

1.4.2.2 Pruebas de infiltración en el suelo

Se efectuaron pruebas de infiltración del agua en el suelo en época seca (diciembre) en los puntos de observación.

La velocidad de infiltración se determinó con el método de doble cilindros, esto permitió obtener el modelo de Kostiakov-Lewis y luego el cálculo de la velocidad de infiltración básica (Sandoval, 1,989).

Para seleccionar el lugar de la prueba se evitó efectuar la prueba en sitios compactados, hormigueros ó grietas (Sandoval, 1,989).

1.4.2.3 Aforo de emisores de riego

El aforo de emisores permitió determinar la lámina bruta de riego que aplican los emisores de riego en finca Pachonté, esto sirvió para comparar láminas de riego del estudio con respecto a las láminas utilizadas en la finca, por ende, permitió calcular el gasto de agua. La intensidad de aplicación (mm/h) sirvió para calcular el tiempo de operación del emisor para aplicar láminas brutas de riego obtenidas del estudio.

El aforo de emisores tipo cañón se efectuó con un recipiente cilíndrico con capacidad de 216 litros, los mini aspersores con un recipiente cilíndrico de 18.9 litros, se anotó el tiempo en llenar el recipiente; el procedimiento se efectuó cuatro veces para obtener un promedio en L/s convertido a m³/h.

Las fórmulas utilizadas para los cálculos fueron:

$$Lb = \frac{Qa \cdot h}{Dl \cdot De} * 1000 \qquad Vha = \frac{Qa \cdot h}{(Dl \cdot De) / 10,000} \qquad Ia = \frac{Qa}{Dl \cdot De} * 1000$$

Dónde:

Lb = Lámina bruta (mm).

Ia = Intensidad de riego del emisor en (mm/h).

Vha = Volumen de agua (m³) para regar una hectárea.

Qa = Caudal promedio del emisor (m³/h).

h = horas de operación del emisor por turno.

Dl = Distancia (m) entre lateral de riego.

De = Distancia (m) entre emisor.

10,000 = factor que convierte m² a hectáreas.

1,000 = factor que convierte metros a milímetros.

1.4.3 Fase de laboratorio

El análisis de las propiedades físicas del suelo se realizó en el laboratorio de suelos del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

1.4.3.1 Porcentaje de Capacidad de Campo (% CC)

El análisis de % CC se determinó a través de la olla de presión a 1/3 de atmósfera de tensión.

1.4.3.2 Porcentaje de Punto de Marchitez Permanente (% PMP)

El análisis de % PMP se efectuó con la membrana de presión a 15 atmósferas de tensión.

1.4.3.3 Densidad Aparente (g/cc)

El método empleado fue el de la probeta graduada.

1.4.3.4 Textura

El método empleado fue el del “Hidrómetro de Bouyucos”.

1.4.4 Fase de gabinete

La fase de gabinete consistió en la realización de cálculos de láminas y frecuencias de riego, para esto fue necesario utilizar una hoja de cálculo de Excel que permitió efectuar todos los cálculos, se elaboraron mapas temáticos con la información obtenida para su representación gráfica y análisis, durante esta fase también se efectuó un análisis económico y de gasto de agua cuando se utiliza láminas y frecuencias de riego obtenidas del estudio en comparación a la utiliza durante la temporada de riego 2,017-2,018.

1.4.4.1 Lámina neta (Ln)

$$Ln_{i \text{ estrato}} = \left(\frac{\%CC - \%PMP}{100} \right) * Dap * Zr * DPM$$

Dónde:

L_n iestrato	=	Lámina neta en el i-ésimo estrato radicular (mm).
% CC	=	Capacidad de campo (%).
% PMP	=	Punto de marchitez permanente (%).
Dap	=	Densidad aparente del suelo (adimensional).
Zr	=	Zona radicular (mm) de cada estrato.
DPM	=	Déficit Permitido de Manejo (0.6).

Se calculó la lámina neta para cada estrato de suelo radicular, posteriormente se sumó la lámina de cada estrato para obtener una lámina neta total.

1.4.4.2 Lámina bruta (Lb)

$$Lb = \frac{Ln}{Ef. apl.}$$

Dónde:

Lb = Lámina bruta (mm).

Ln = Lámina neta (mm).

Ef. Apl. = Eficiencia del riego presurizado (0.7 en este caso).

1.4.4.3 Frecuencia de riego (Fr)

$$Fr = \frac{Ln}{Etc} \qquad Etc = Kc * Et_0 \qquad FrA = Fr - n$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de riego (días) con decimales.

FrA = Frecuencia (días) de riego ajustado.

n = Valores decimales.

Ln = Lámina neta (mm).

Etc = Uso consuntivo (mm/día).

K_c = Valor tabular que depende de la etapa fenológica del cultivo y de la textura del suelo.

E_t = Evapotranspiración del cultivo en mm/día en función de la etapa fenológica del cultivo, estrato altitudinal y tercio de la zafra (época del año).

1.4.4.4 Lámina neta ajustada

$$LnA. = FrA * Etc$$

Dónde:

LnA. = Lámina neta ajustada (mm).

FrA = Frecuencia (días) de riego ajustado.

Etc = Uso consuntivo.

1.4.4.5 Lámina bruta ajustada

$$Lb. = \frac{LnA}{Ef. apl.}$$

Dónde:

Lb = Lámina bruta ajustada.

LnA. = lámina neta ajustada.

Ef. Apl. = Eficiencia de del sistema de riego presurizado (0.7).

1.4.4.6 Elaboración de mapas temáticos

Se elaboraron mapas temáticos con las coordenadas de geo referencia de los puntos de observación, frecuencia y lámina bruta de riego, porcentaje de arcillas e infiltración básica.

Los mapas fueron elaborados con un software para Sistemas de Información Geográficas (SIG), con esto se interpoló a partir de un libro de Excel con información de frecuencia de riego, lámina bruta, porcentaje de arcillas e infiltración básica, en cada hoja de Excel se colocó en la primera columna, la lista de los puntos muestreados, en la

segunda columna las coordenadas Longitud Oeste (UTM), en la tercera columna las coordenadas de Latitud Norte (UTM), en la cuarta columna la variable a interpolar, se anotaron títulos de las columnas de la hojas de Excel en el siguiente orden: (de izquierda a derecha) ID, X, Y, Z.

Una vez completada la información en Excel con los datos a interpolar se abrió el software de SIG donde se ingresó la Forma (Shape) de finca Pachonté, también se agregó la hoja de Excel con los datos de cada aspecto a interpolar, una vez seleccionados los datos se interpoló sin respetar los límites de la finca.

En el aplicativo Arcmap se abrió la tabla de valores y se le asignó el sistema de coordenadas geográficas con la herramienta Display XY Data. En la aplicación ArcToolbox, se utilizó el método Spatial Analyst Tool, donde se utilizó la herramienta Interpolation.

Para obtener la interpolación dentro de los límites de la finca se procedió a utilizar la herramienta contenida en ArcTollbox, denominada Data Management tool, se utilizaron las herramientas Raster, Raster proccesing y su función Clip, donde se seleccionaron las coordenadas (X, Y) máximas y mínimas que marcan el límite de la finca, y con esto se obtuvo la interpolación dentro de los límites de Pachonté.

1.4.4.7 Análisis económico de la información

El análisis económico se efectuó de forma parcial para el rubro de riegos, el análisis se efectuó a partir del costo/Ha tarifario proporcionado por el Departamento Ingeniería Agrícola del Ingenio Palo Gordo.

El costo tarifario por hectárea del riego por aspersion es Q.393.09, para mini aspersion Q.799.01.

Se calculó el costo por temporada de riego cuando se riega con frecuencias obtenidas del estudio, se calculó el beneficio bruto y neto por temporada y relación beneficio/costo.

$$CT = (Ar \times R \times (Q)ha) + D.$$

$$BBT = BTC \times PR \times A.$$

$$B/C = BBT/CT.$$

Dónde:

CT = Costo Total (Q) por temporada de riego con aspersión o mini aspersión.

BBT = Beneficio (Q) Bruto por temporada de riego.

B/C = Relación Beneficio Costo por temporada de riego.

Ar = Área (Ha) de riego del sistema aspersión o mini aspersión en Pachonté.

R = Número de riegos por temporada del sistema aspersión o mini aspersión en función de la frecuencia.

(Q)ha = Costo por hectárea del sistema aspersión o mini aspersión.

BTC = Beneficio (Q) por Tonelada de caña (Q.180.00).

PR = Promedio de rendimiento (ton/Ha) de Pachonté (86.47 ton/Ha zafra 2017-2018).

A = Área (Ha) total en producción de caña (575.53 ha.).

D = Tasa de depreciación por temporada de riego de los equipos de riego por aspersión (Q.172,032.00).

1.4.4.8 Análisis del gasto de agua con frecuencias y láminas de riego obtenidas del estudio

Para calcular el gasto de agua por temporada de riego se determinó el gasto de agua de cada sistema de riego, para riego pre y pos corte en cada zona homogénea obtenida del estudio.

La fórmula utilizada para determinar el gasto de agua (m³) en riego pre y pos corte para el sistema de riego por aspersión y mini aspersión fue la siguiente:

$$GAT = Lb \times ha \times 10$$

Dónde:

GAT = Gasto de Agua por Temporada (m^3).

Lb = Lámina bruta de riego del sistema aspersión cañón o mini aspersión (mm).

ha = Total de hectáreas regadas por el sistema en cada Temporada.

10 = Factor que convierte milimetro y hectárea a metro.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Caracterización de los suelos de finca Pachonté

1.1 Textura del suelo

En finca Pachonté se encontraron cuatro texturas de suelo: Arcilloso, franco-arcilloso, franco y franco-arenoso. Los suelos arcillosos y franco-arcillosos se concentran al Norte, los francos-arenosos en la zona Sur, mientras los suelos francos se distribuyen a lo largo de toda la finca.

Existen 17.26 hectáreas de finca Pachonté con textura arcilloso, 103.6 hectáreas franco-arcilloso, 305.03 hectáreas son de textura franca y 149.64 hectáreas son de textura franco-arenoso. La textura predominante es franca con el 53% del área, el 26% es franco-arenoso, el 18% es franco-arcilloso y la textura minoritaria con el 3% del área es arcilloso. De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (por sus siglas en inglés) por su granulometría la clase textural franco arenoso puede clasificarse como suelos de textura gruesa, la textura franca como suelos de textura media, los francos-arcillosos como suelos moderadamente finos y los arcillosos como suelos finos.

Los suelos con textura gruesa presentes en un 53% de finca Pachonté indican un elevado porcentaje de arena, de acuerdo con la FAO (2,019) la textura gruesa indica una elevada proporción de arena; la textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa, eso significa que para los suelos con textura franco arenoso en finca Pachonté tenderán a infiltrar rápido el agua cuando exista eventos lluviosos, sin embargo para la práctica de riego en época seca esta propiedad de los suelos con textura gruesa repercute en un rápido descenso de la humedad del suelo disponible para la planta, de acuerdo con Sandoval (1,989) las partículas de arena presentan una superficie específica o interna del bloque, debido a esto retienen mucho menos humedad ya que tienen poca área en donde el agua pueda adherirse; la

arena sirve como almacén del suelo aumentando el tamaño de los poros, por lo que contribuye a un drenaje rápido del agua; por esta razón en zonas con textura gruesa la práctica de riego debe efectuarse con eficiencia debido a que es una zona dominante en la finca.

A medida que aumenta la cantidad de arcilla en los suelos de finca Pachonté la capacidad de retención de humedad también se incrementa, de acuerdo con Sandoval (1,989) la arcilla, tiene miles de veces más superficie específica o interna que el limo y la arena lo que le da la característica de poder retener una gran cantidad de agua adherida en su superficie, los suelos con textura media tenderán a retener agua por más días, debido a que esta textura representa el 26% del área productiva de finca Pachonté el riego debe efectuarse con eficiencia. Los suelos moderadamente finos a finos debido a su alto contenido de arcillas, estas zonas representan el 18 y 3% respectivamente de finca Pachonté, debe atenderse el riego con menor frecuencia de riego, de acuerdo con Sandoval (1,989), la cantidad de agua que se aplica en cada riego es mayor en un suelo arcilloso porque puede retener más y se regará con intervalo de tiempo más largo.

La figura 12 permite ver la distribución textural de los suelos de finca Pachonté, el porcentaje de arcillas, el área ocupada por cada una, las constantes de humedad promedio y el área ocupada por cada clase textural.

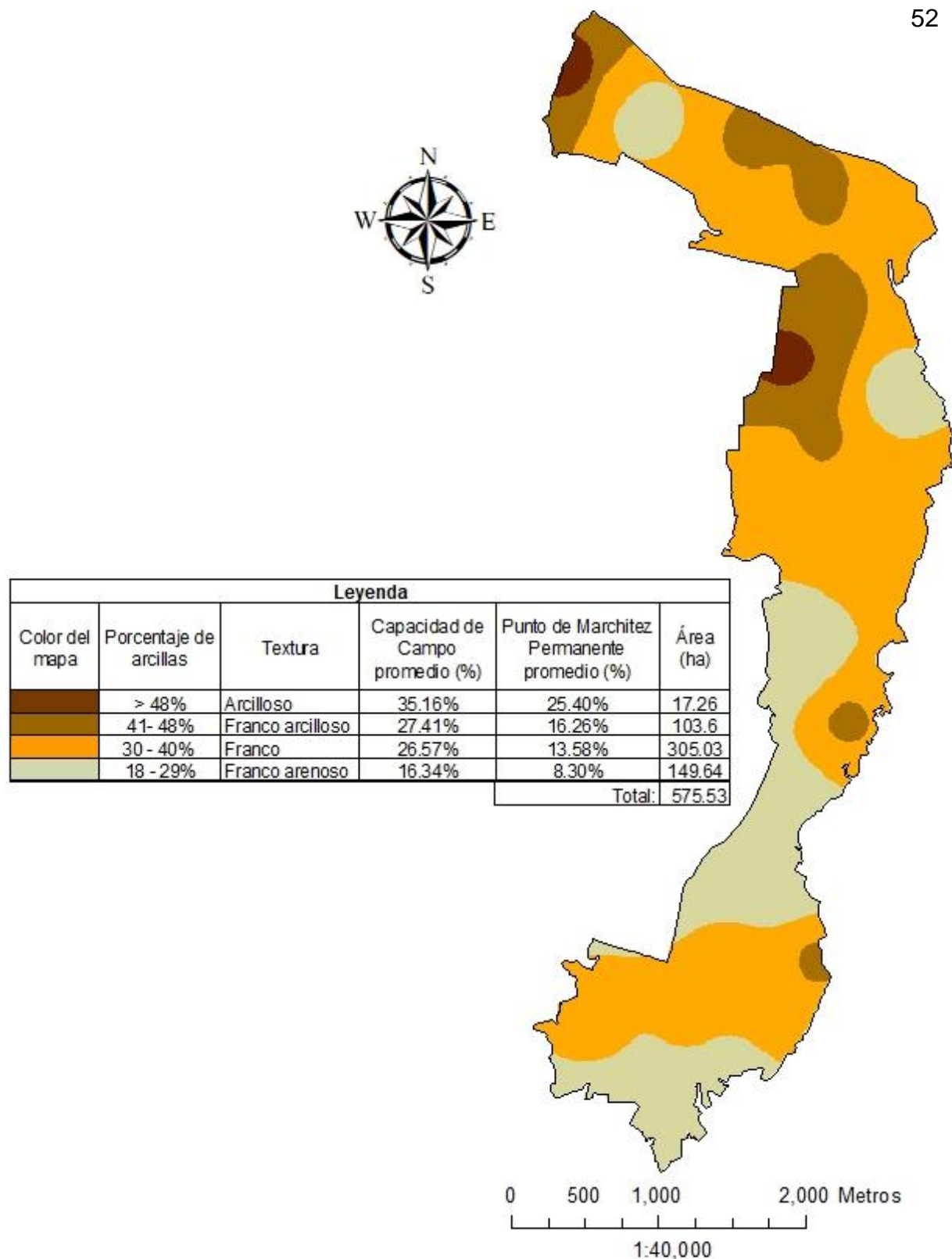


Figura 12. Distribución de arcilla, área y constante de humedad promedio de cada textura del suelo obtenida del estudio en Pachonté.

Fuente: Autor (2,019).

1.2 Estructura del suelo

Los suelos de finca Pachonté son suelos desagregados, es decir, no existe una organización definida debido a la actividad de mecanización agrícola que incluyen subsoleo, arado y surqueo, de acuerdo con el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) (2,000) la desagregación del suelo es causada por el movimiento interno del suelo a causa de las prácticas de labranza.

Los suelos de textura gruesa de finca Pachonté se clasificaron como como granos simples con una consistencia de grano suave a suelto, con relación a los suelos de textura moderadamente fina se caracterizó suelos con granos masivos con consistencia dura y los suelos finos con granos masivos y consistencia muy dura. (Ver cuadro 20 en anexo). Los suelos sin estructura se dividen en granos simples y masivos, los granos simples tienen una consistencia suelta, suave o muy friable, los suelos con estructura masiva pueden ser adicionalmente definidos por la consistencia (FAO 2,009).

Los aspectos de textura y estructura repercuten en la práctica de riego, en zonas de finca Pachonté con textura media fina a fina con estructura de granos masivos, por efectos de compactación de las actividades agrícolas en el cultivo se reduce la velocidad de infiltración, con relación a los suelos con textura media a gruesa con granos sueltos y consistencia de grano suave a suelto su capacidad de infiltración es mayor.

De acuerdo con Sandoval (1,989) a diferencia de la textura, la estructura de la superficie del suelo puede ser cambiada, por esta razón en suelos moderadamente finos a finos debe efectuarse práctica de ruptura del suelo posterior a la actividad de cosecha debido a la compactación del suelo, esto permitirá las condiciones para aumentar la infiltración de agua en el suelo y evitar problemas de encharcamiento o escorrentía.

1.3 Densidad Aparente

En suelos francos la densidad aparente determinada en el laboratorio de suelos indica una relación de 1.30 g/cm^3 , este valor de acuerdo con Sandoval (1,989) el rango de densidad aparente esperado para esta textura es de 1.30 a 1.50 g/cm^3 . La densidad aparente promedio en suelos franco-arenosos fue de 1.44 g/cm^3 , de acuerdo con Sandoval *et al* (2,011) esta textura de suelo presenta densidad aparente comprendida entre 1.4 a 1.8 g/cm^3 . En suelos con textura franco arcilloso la densidad aparente obtenida del estudio para esta textura fue de 1.33 g/cm^3 . En suelos arcillosos el promedio de densidad aparente fue de 1.17 g/cm^3 , de acuerdo con Sandoval (1,989) los suelos arcillosos tienen una densidad aparente de 1 a 1.30 g/cm^3 .

La densidad aparente obtenida del estudio en Pachonté decrece conforme aumenta la cantidad de arcillas, los suelos con alta densidad tienden a retener menor cantidad de agua, mientras los suelos con aparente baja tienden a retener una mayor cantidad de agua esto se debe a que los suelos finos presentan una mayor cantidad de porosidad. Los suelos arcillosos tienen mayor cantidad de poros que los arenosos, esto hace que su densidad aparente sea menor (Monroy, 2,018).

1.4 Constantes de humedad

En los suelos francos de finca Pachonté el promedio de Capacidad de Campo fue de 26.57% ; esto es coherente de acuerdo con Israelsen y Hansen (1,979) quienes indican que estos suelos presentan un valor de Capacidad de Campo comprendido en el rango de 18 a 26% . El promedio de la constante de humedad Punto de Marchitez Permanente obtenido del laboratorio fue de 13.58% en comparación al reportado por Sioingeniería.com (2,018) indica que el rango de la constante de humedad Punto de Marchitez Permanente es de 8 a 17% .

Los suelos con textura franco-arenoso presentaron capacidad de campo promedio de 16.34% , de acuerdo con (Silva P. *et. al* 2,015) este valor debe estar en el rango de 12 a 18% , los mismos autores indican que el rango del punto de marchitez permanente

debe ser entre cuatro a 8%, en este caso los suelos de finca Pachonté presentaron un promedio de 8.30.

Con relación a los suelos de textura franco arcilloso, la capacidad de campo promedio determinado fue de 27.41, este valor de acuerdo con Israelsen y Hansen (1,979) debe estar comprendido entre 23 a 31%, de acuerdo con los mismos autores el punto de marchitez permanente promedio debe estar en el rango de doce a 16% con relación al 16.26% obtenido para esta textura.

Los suelos con textura arcilloso presentaron una capacidad de campo promedio de 35.16%, de acuerdo con Israelsen y Hansen (1,979) el rango debe ser entre 31 a 39%, con relación al punto de marchitez permanente el promedio obtenido del estudio fue de 25.40 comparado por el rango de 13 a 29% indicado por (Silva, Herman, Garrido y Acevedo, 2,015).

Las constantes de humedad, de acuerdo con cada textura encontrada en el estudio se resumen en el cuadro nueve.

Cuadro 9. Resumen de las propiedades físicas del horizonte superficial que se relacionan con el manejo del riego obtenidos del estudio en Pachonté.

Textura (Horizonte superficial)	Punto de Marchitez Permanente (%)			Capacidad de campo (%)		
	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.
Arcilloso	28.14	22.65	25.40	38.17	32.14	35.16
Franco-arcilloso	17.68	14.67	16.26	30.14	25.47	27.41
Franco	18.95	10.35	13.58	28.45	24.78	26.57
Franco-arenoso	9.56	7.14	8.30	17.23	14.80	16.34

Fuente: Autor (2,019).

De acuerdo con el cuadro nueve, para efectos de riego, los suelos de textura media a gruesa de Pachonté permiten mayor capacidad de retención de humedad y menor frecuencia de aplicación de riego, caso contrario a los suelos de textura gruesa; la capacidad de retención de humedad del suelo se reduce a medida que el contenido de arcilla baja. La constante de humedad Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente se reduce conforme de forma simultánea con el contenido de arcillas. La figura 11 permite visualizar la distribución textural en finca Pachonté.

1.5 Velocidad de infiltración

El estudio indica que en Pachonté de las 575.53 hectáreas con cultivo de (*S. officinarum* L.) existen lotes en finca Pachonté aptos (ver cuadro 25 en Anexo) para sistema de riego por aspersión cañón y mini aspersión.

Las zonas con textura media a gruesas presentaron velocidad de infiltración comprendida entre 14.8 a 29.6 mm/h, con relación a las texturas moderadamente fina a fina la velocidad de infiltración fue entre 4.8 a 14.8 mm/h.

La intensidad de riego de los emisores de baja descarga Senninger 3023 del sistema mini aspersión es de 4.64 mm/h con una presión de operación de 2.81 Kg/cm², permiten

que un total de 352.3 hectáreas con velocidad de infiltración básica comprendida entre 4.8 a 14.5 mm/h son aptas para este sistema de riego.

La intensidad de riego de los emisores de alta descarga modelo Komet 101 y Nelson F-100 es en promedio 14.53 mm/h cuando la presión de operación es de 3.87 Kg/cm² permiten que un total de que 223.23 hectáreas con velocidad de infiltración básica comprendida entre 14.8 a 29.9 mm/h son aptos para este sistema.

Al Norte de Pachonté la zona presenta mayor aptitud para regarse con riego por mini aspersión debido a que el 60% del área apta para riego por mini aspersión se encuentra localizada en esta dirección dentro de finca Pachonté; el resto del área se ubica a lo largo y Sur de la finca.

Con relación del área total que presenta aptitud para riegos con aspersores de alta descarga, el 71% se localiza a lo largo de la toda la finca y al Sur el 29%.

Cuando se ubica los emisores de riego en zonas adecuadas a su descarga de agua se previene problemas de encharcamiento en suelos de textura fina cuando se encuentren compactados, según indica (Castillo y Silva, 2,004) si se proporciona demasiada agua al cultivo, ya sea por riego o lluvias fuertes, puede reducir la tasa de crecimiento e incluso detenerlo; sin embargo, luego del drenaje del agua, continúa el crecimiento; por esta razón debe evitarse compactación del suelo en suelos de textura fina para facilitar la infiltración y drenaje del agua con ruptura del suelo entre surcos una vez efectuada la cosecha.

La figura 13 ilustra la forma en que se distribuye la capacidad de infiltración del agua en los suelos de finca Pachonté, el área y tipo de sistema de riego para el que el suelo presenta aptitud.

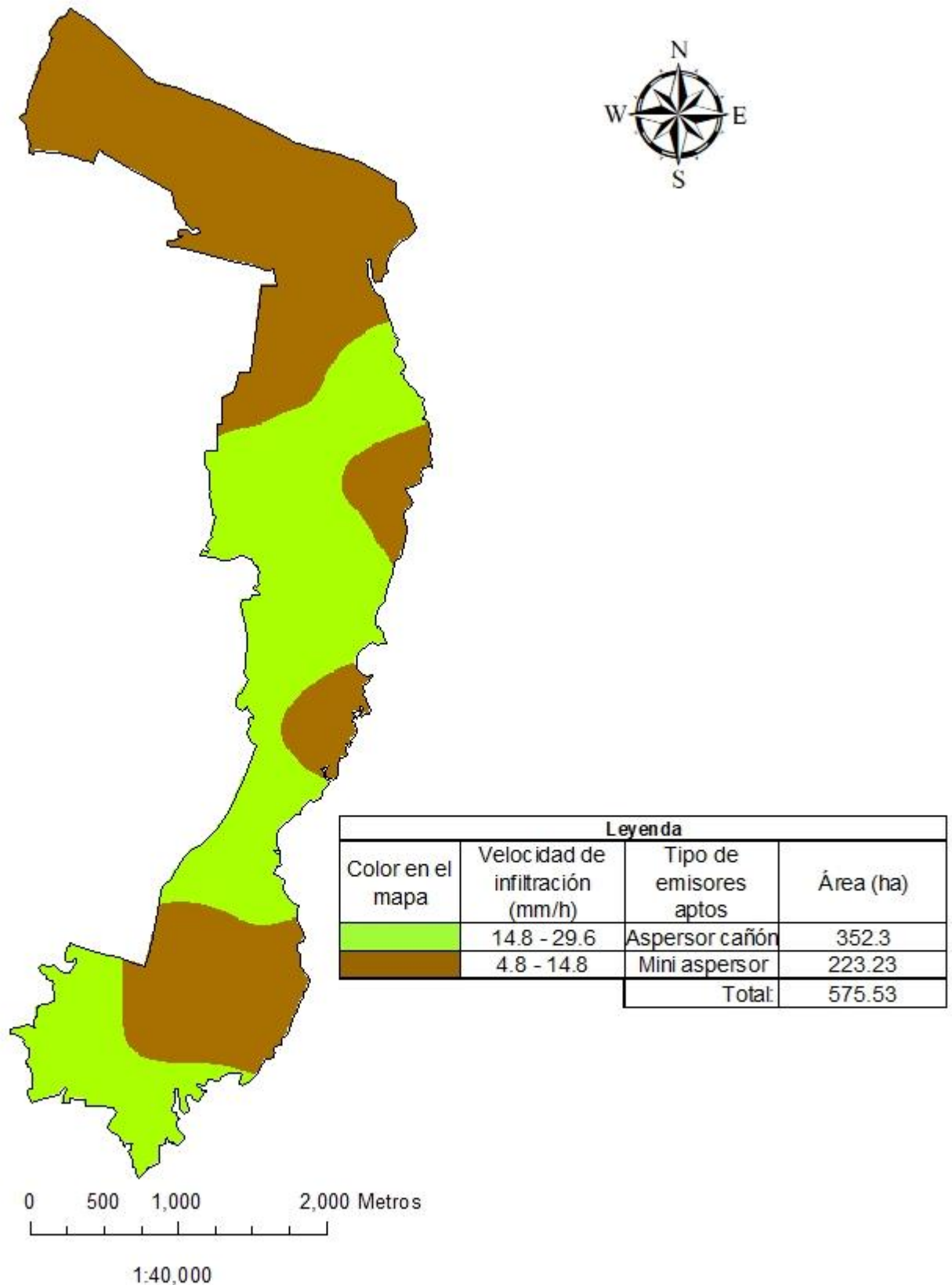


Figura 13. Mapa de zonas en finca Pachonté aptas para riego con aspersores cañón y mini aspersores con su respectiva área.

Fuente: Autor (2,019).

2. Láminas y frecuencias de riego

2.1 Láminas de riego

El cuadro 10 indica las láminas de riego que se debe aplicar previo y posterior al corte del cultivo, esta lámina permite llevar un estrato de 0 – 60 centímetros de profundidad a capacidad de campo; el agua que se aplique demás se perderá por percolación o escorrentía.

La zona A corresponde a suelos con textura moderadamente fina a fina y la zona B a zonas con textura media a gruesa.

Cuadro 10. Resumen de lámina neta y bruta para riego pre y pos corte en cada zona obtenida del estudio.

Momento de riego	Zona	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (Lb)
Pre corte	A	34.5	43.1
Pre corte	B	24.6	31.0
Pos corte	A	33.2	41.6
Pos corte	B	26.6	33.2

Fuente: Autor (2,019).

Durante el riego pre y pos corte en la zona A la lámina bruta de riego es mayor que en la zona B, esto se debe a que en general el porcentaje de arcillas en el estrato de 0 a 60 cm se incrementa en esta zona en comparación con la cantidad de arcillas de la zona B.

El tiempo de riego para cada zona (ver cuadro 11) es distinto porque los módulos de riego aspersión y mini aspersión que se emplea en Pachonté (ver anexo) presentan traslape con las zonas A y B, además debe considerarse aprovechar al máximo los equipos de riego en Pachonté.

Cuadro 11. Tiempo de riego pre y pos corte de cada sistema de riego en cada zona obtenida del estudio.

Zona	Sistema de riego	Horas de riego Actual	Horas riego calculado	Diferencia	Obs.
Pre corte					
A	Mini aspersión	11	9.3	1.7	Exceso
B	Mini aspersión	11	6.7	4.3	Exceso
A	Aspersión	3	3	0	-----
B	Aspersión	3	2.1	0.9	Exceso
Pos corte					
A	Mini aspersión	11	9	2	Exceso
B	Mini aspersión	11	7.2	3.8	Exceso
A	Aspersión	3	2.9	0.1	Exceso
B	Aspersión	3	2.3	0.7	Exceso

Fuente: Autor (2,019).

A excepción de la zona A en riego pre corte con sistema por aspersión cañón, existe exceso de horas de riego, esto se genera porque las láminas de riego calculadas son menores a las actuales entonces utilizar las mismas intensidades de riego permiten regar láminas menores en menor cantidad de horas de operación de los emisores.

La lámina de riego está en función de la intensidad de riego y el tiempo de operación, el cuadro 17 es una comparación de láminas de riego utilizados durante la zafra 2,017-2,018 con respecto a las obtenidas del estudio.

Cuadro 12. Comparación de láminas brutas en riego pre y pos corte actual con respecto al obtenido del estudio para cada zona.

Momento de riego	Tipo de riego	Lámina actual (mm)	Zona	Lámina calculada (mm)	Diferencia (mm)	Obs.
Pre corte	Mini aspersión	51	A	43.1	7.9	Exceso
			B	31	20	Exceso
	Aspersión	43.6	A	43.1	0.5	Exceso
			B	31	12.6	Exceso
Pos corte	Mini aspersión	51	A	41.6	9.4	Exceso
			B	33.2	17.8	Exceso
	Aspersión	43.6	A	41.6	2	Exceso
			B	33.2	10.4	Exceso

Fuente: Autor (2,019).

De acuerdo con el cuadro 12, existe exceso en la aplicación de láminas de riego en riego pre y pos corte, esto significa que una vez aplicada las láminas de riego adecuadas en el estrato de 0 – 60 centímetros, el resto de agua se pierde por percolación en suelos arenosos o escorrentía en suelos arcillosos, esto implica baja eficiencia de aplicación en el uso del agua para riego en finca Pachonté.

2.2) Frecuencia de riego

Para el riego pre corte, en suelos de Pachonté con textura arcilloso, franco-arcilloso y parcialmente la textura franca durante el ajuste de la frecuencia de riego valores de siete y ocho días; las texturas franco arenoso y de forma parcial franco presentaron frecuencia entre cinco y seis días. Para el riego pos corte para suelo arcilloso, franco-arcilloso y de forma parcial franco, se obtuvo frecuencias de riego de diez y once días, para la textura franco-arenoso y de forma parcial suelo franco se obtuvo frecuencias de ocho y nueve días.

De acuerdo con el Departamento de Ingeniería Agrícola de Palo Gordo (2,019), cuando un área es menor del 20% del total en estudio es difícil controlar las labores de riego y asignación de equipo para espacios relativamente pequeños.

Por lo anterior, durante el riego pre corte las zonas arcillosas con frecuencia de ocho días no superan el 20% del total entonces se ajustó a la frecuencia de siete días para homogenizar esto como una zona denominada A. De similar forma, las zonas con frecuencia entre cinco y seis días se resumieron en una zona denominada B; esta clasificación se efectuó con las frecuencias obtenidas en riego Pre y Pos corte; seleccionar la frecuencia menor cumple con la frecuencia en todo momento en ambas zonas.

Cuadro 13. Resumen de zonas homogéneas y su Frecuencia de riego.

Zona	Frecuencia (días) pre corte	Frecuencia (días) Pos Corte
A	7	10
B	5	8

Fuente: Autor (2,019).

El cuadro 13 indica la frecuencia de riego, es decir el intervalo entre un riego y otro en las zonas A y B durante el riego pre y pos corte. Los lotes que corresponden a cada zona (ver cuadro 24 en Anexos) hacen un total de área en la zona A de 391.42 hectáreas y B con 184.11 hectáreas.

La figura 14 ilustra y resume la frecuencia y lámina bruta de riego recomendable en las zonas A y B antes y después del corte de la caña de azúcar.

En el cuadro 14 se observa la comparación de la frecuencia de riego de uso actual con relación a la frecuencia de riego obtenida en cada zona durante el riego pre y pos corte.

Cuadro 14. Comparación de frecuencias de riego pre y pos corte actual con respecto al obtenido del estudio para cada zona.

Momento de riego	Tipo de riego	Frec. Actual (días)	Zona	Frec. Calculada (días)	Diferencia (días)
Pre corte	Mini aspersión	14	A	5	9
			B	7	7
	Aspersión	18	A	5	13
			B	7	11
Pos corte	Mini aspersión	14	A	10	4
			B	8	6
	Aspersión	18	A	10	8
			B	8	10

Fuente: Autor (2,019).

De acuerdo a la comparación del cuadro 14, existen diferencia de las frecuencias de riego obtenidas del estudio y las que se utiliza en finca Pachonté, es decir, en la actualidad las frecuencias de riego permite que el nivel de humedad sea menor al óptimo en cada zona de la finca, la importancia de utilizar frecuencias adecuadas en la etapa inicial en siembras nuevas del cultivo de (*S. officinarum* L.) radica en mantener niveles adecuados de humedad en el suelo para que los esquejes puedan generar brotes vegetativos. La humedad es otro de los factores importantes para la germinación, promueve que el brote de la yema pase de su estado durmiente o latente en que se encuentra, a un estado activo (Castillo y Silva, 2,004).

La consecuencia de no utilizar frecuencias de riego ideales tiene un efecto directo sobre el desarrollo de la plantación en finca Pachonté, es decir, los procesos fisiológico de las plantas pueden verse afectados debido al bajo nivel de humedad cuando se aplica el siguiente riego, las frecuencias de riego obtenidos del estudio permite brindar todas las condiciones ideales de humedad en los suelos de finca Pachonté para que la plantación pueda llevar a cabo su proceso fotosintético para generar biomasa y sacarosa. De acuerdo con (Castillo y Silva, 2,004) en la fotosíntesis, el carbono es fijado por la planta, el que podría ser usado para su crecimiento, producción de más

hojas, raíces o elongación de los tallos; también puede ser almacenado como azúcar en los tallos, los mismos autores agregan que el estrés hídrico y la falta de luminosidad y temperatura, pueden ser muy severos que la fotosíntesis también se ve afectada, ocurre un consumo de azúcar desde el tallo para responder a la demanda de la planta a través de las enzimas invertasas; en la plantación de (*S. officinarum* L.) de finca Pachonté este efecto está relacionado con las etapas de macollamiento y elongación así como en la etapa de maduración con una reducción de la concentración de sacarosa.

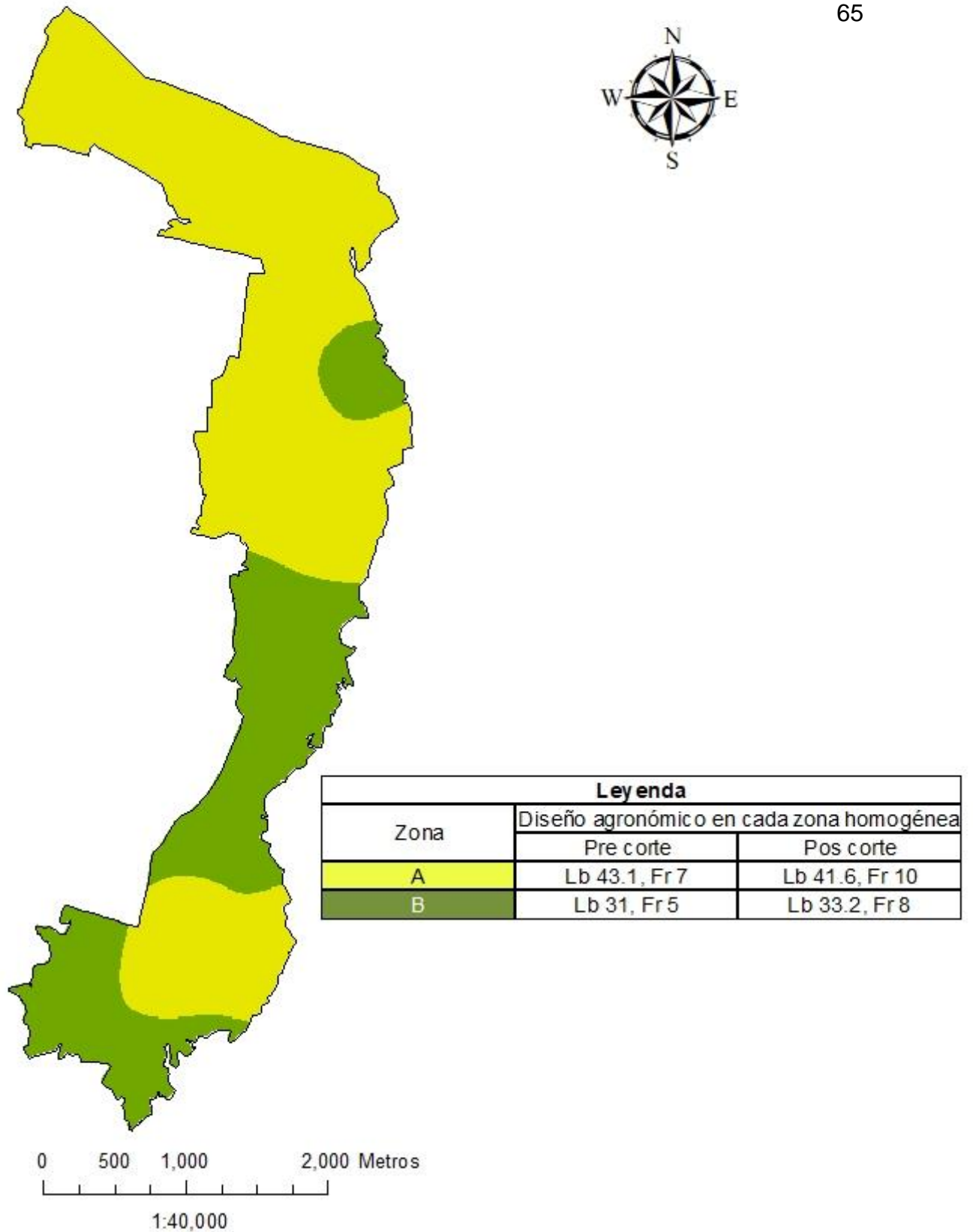


Figura 14. Mapa de láminas brutas y frecuencias de riego pre y pos corte obtenidas del estudio en finca Pachonté.

Fuente: Autor (2,019).

3. Análisis del gasto de agua con la implementación del estudio

Cuadro 15. Resumen del gasto de agua por temporada implementando la frecuencia de riego obtenida del estudio en Pachonté.

PRE CORTE				
ASPERSIÓN				
Zona	Frecuencia de riego (días)	Lámina bruta de riego (mm)	Total área de riego (Ha) por temporada	Gasto de agua (m³) por temporada
A	7	43.1	2094.72	902824.320
B	5	31	932.26	288999.360
MINI ASPERSIÓN				
A	7	43.1	908.51	391567.194
B	5	31	1287.60	399156.000
POS CORTE				
ASPERSIÓN				
A	10	41.6	641.51	266,867.328
B	8	33.2	254.91	84,631.365
MINI ASPERSIÓN				
A	10	41.6	266.41	110,828.224
B	8	33.2	337.13	111,925.500
			Total aspersion:	1,543,322.373
			Total mini aspersion:	1,013,476.918
			Total temporada (m ³):	2,556,799.291
GASTO DE AGUA CON LÁMINAS DE ZAFRA 2,017-2,018				
Sistema de riego	Lámina bruta (mm) de riego	Total, área (Ha) de riego zafra 2017-2018	Gasto de agua (m³) por temporada	
Aspersion	43.6	2176.1	948,779.600	
Mini aspersion	51	1239.93	632,364.300	
			Total temporada (m ³)	1,581143.900
Ahorro de agua por temporada de riego (m³)				-975655.39

Fuente: Elaborado por el Autor (2,019).

En el cuadro 15, el gasto de agua se incrementa en 975,655.39 m³ de agua, sin embargo, cuando se riega con las frecuencias actuales y láminas obtenidas del estudio

(ver cuadro 16) se tiene un ahorro de agua en 482,434.63 m³ con respecto a la cantidad de agua utilizada con frecuencias de la temporada de riego 2,017-2,018.

Cuadro 16. Resumen del gasto de agua cuando se utiliza frecuencias de la zafra 2,017-2,018 y láminas brutas de riego obtenidas del estudio.

PRE CORTE				
ASPERSIÓN				
Zona	Frecuencia de riego (días)	Lámina bruta de riego (mm)	Total área de riego (Ha) por temporada	Gasto de agua (m³) por temporada
A	18	43.1	814.61	351,098.347
B	18	31	258.96	80,277.600
MINI ASPERSIÓN				
A	14	43.1	454.25	195,783.597
B	14	31	459.86	142,555.714
POS CORTE				
ASPERSIÓN				
A	18	41.6	356.39	148,259.627
B	18	33.2	113.30	37,613.940
MINI ASPERSIÓN				
A	14	41.6	190.30	79,163.017
B	14	33.2	192.64	63,957.429
			Total aspersion:	617,249.513
			Total mini aspersion:	481,459.757
			Total temporada (m ³):	1,098,709.270
GASTO DE AGUA CON LÁMINAS DE ZAFRA 2,017-2,018				
	Sistema de riego	Lámina bruta (mm) de riego	Total área (Ha) de riego zafra 2017-2018	Gasto de agua (m³) por temporada
	Aspersion	43.6	2176.10	948,779.600
	Mini aspersion	51	1239.93	632,364.300
			Total temporada (m ³)	1,581,143.90
Ahorro de agua por temporada de riego (m³)				482434.63

Fuente: Elaborado por el Autor (2,019).

*Área de riego por temporada proyectada.

El incremento del gasto de agua cuando se utiliza láminas y frecuencias del estudio ocurre debido al incremento del número de riegos, es decir, cuando aumenta el número de riegos aumenta el área total de riego por temporada de los sistemas aspersión cañón y mini aspersión, sin embargo, si se utiliza la frecuencia utilizada en la zafra 2,017-2,018 se reduce el gasto de agua.

4. Análisis económico

Cuadro 17. Análisis de costos utilizando frecuencias de riego de riego sin estudio del suelo.

Sistema de riego	Frecuencia de riego (días)	Área de riego (Ha)	Área total regada (Ha) zafra 2,017-2,018	Costo/Ha	Costo por temporada de riego
Aspersión	18	413.89	2176.10	Q393.09	Q855,403.15
Mini aspersión	14	161.64	1,239.93	Q799.01	Q990,716.47
	Total:	575.53	SUB TOTAL POR TEMPORADA		Q1,846,119.62
Rendimiento zafra 2,017-2,018 TCH		86.47	TOTAL DEPRECIACIÓN		Q172,032.00
Beneficio/tonelada		Q180.00	BENEFICIO BRUTO		Q8,957,894.24
			BENEFICIO/COSTO		4.44

Fuente: Adaptado por el Autor (2,019) de información de Palo Gordo.

* TCH = Tonelada de Corte por Hectárea.

En el cuadro 17, la relación beneficio/costo es de 4.44 para riegos, es decir que por cada Q.1.00 que se invierte se obtiene Q.3.44 de ganancia en el rubro de riegos.

De acuerdo con el cuadro 18, la relación beneficio/costo se reduce cuando se utiliza las frecuencias obtenidas del estudio en cada módulo de riego, la razón de la reducción del beneficio/costo es debido al incremento del total de riegos en las zonas A y B, es decir, aunque se reduzca las horas de riego el costo/Ha permanece igual debido a que el costo/ha es tarifario; al final el costo de la temporada de riego lo determina las hectáreas totales regadas en el sistema de riego por aspersión cañón y mini aspersión.

Cuadro 18. Análisis de costos utilizando frecuencias de riego de riego obtenido del estudio en cada módulo actual de riego por Aspersión y Mini aspersión en riego pre y pos corte.

PRE CORTE									
ASPERSIÓN									
Zona	Frecuencia de riego (días)	Días actividad promedio zafra 2017-2018	Días actividad pre corte	Área de riego (Ha)	No. riegos	Total área por temporada (Ha)	Costo/Ha	Costo temporada	
A	7	69	48	305.48	7	2094.720	Q393.09	Q823,413.48	
B	5	69	48	97.11	10	932.256	Q393.09	Q366,460.51	
MINI ASPERSIÓN									
A	7	105	74	85.94	11	908.51	Q799.01	Q725,907.43	
B	5	105	74	87	15	1287.60	Q799.01	Q1,028,805.28	
Total (ha):				575.53					
POS CORTE									
ASPERSIÓN									
Zona	Frecuencia (días)	Días actividad promedio zafra 2017-2018	Días actividad pre corte	Área de riego (Ha)	No. riegos	Total área por temporada (Ha)	Costo/Ha	Costo temporada	
A	10	69	21	305.48	2	641.51	Q393.09	Q252,170.38	
B	8	69	21	97.11	3	254.91	Q393.09	Q100,204.05	
MINI ASPERSIÓN									
A	10	105	31	85.94	3	266.414	Q799.01	Q212,867.45	
B	8	105	31	87	4	337.125	Q799.01	Q269,366.25	
				Total área (Ha)	575.53	Total área aspersión	3923.40	COSTO TOTAL ASPERSIÓN	Q1,542,248.42
						Total área mini aspersión	2799.65	COSTO TOTAL MINI ASPERSIÓN	Q2,236,946.41
						Total general	6723.05	COSTO TOTAL TEMPORADA	Q3,779,194.83
								BENEFICIO BRUTO	Q8,957,894.24
								TOTAL DEPRECIACIÓN	Q172,032.00
								BENEFICIO/COSTO	2.27
			Rendimiento proyectado	86.47 ton/Ha					
			Beneficio por tonelada	Q180.00					

Fuente: Elaborado por el Autor (2,019).

Cuando se considera el incremento reportado por CENGICAÑA (2,012) en suelos franco-arenosos, se esperaría un incremento promedio de 31.5 TCH en la temporada de zafra, este hecho permite obtener un valor de beneficio costo de 3.09, es decir, a pesar de obtener un incremento en el rendimiento no se alcanzaría o superaría la tasa de beneficio costo actual, por esta razón, regar con frecuencias ideales permite un adecuado aporte de agua y humedad en el suelo para el crecimiento del cultivo en finca Pachonté, sin embargo, esto económicamente representa un mayor costo y reducción del beneficio/costo.

VII. CONCLUSIONES

1. La textura predominante del suelo de finca Pachonté es Franco con 305 hectáreas, esto representa el 53% de toda la finca, el resto es de textura franco-arenoso, franco-arcilloso y arcilloso.
2. El análisis del suelo de Pachonté permitió identificar dos zonas homogéneas para el manejo del riego, la zona A para el riego pre corte debe regarse con una lámina de 43.1 mm y frecuencia de siete días, en riego pos corte debe regarse con una lámina de 41.6 mm y frecuencia de diez días. La zona B en riego pre corte debe regarse con lámina de 31 mm y frecuencia de cinco días y pos corte con lámina de 33.2 y frecuencia de ocho días.
3. Las zonas con textura media a gruesas presentaron velocidad de infiltración comprendida entre 14.8 a 29.6 mm/h, con relación a las texturas moderadamente fina a fina la velocidad de infiltración fue entre 4.8 a 14.8 mm/h, el Norte de finca Pachonté presenta mayor aptitud para regarse con riego por mini aspersion debido a que el 60% del área apta para riego por mini aspersion se localiza en esta dirección, el resto se localiza a lo largo de toda la finca.
4. La comparación de costo por temporada indica que utilizar frecuencias y láminas de riego obtenidas del estudio reduce el beneficio/costo de 3.76 a 1.32 e incrementa en 975,655.39 m³ el uso de agua por temporada de riego.
5. Cuando se utiliza frecuencias como en la zafra 2,017-2,018 con láminas de riego obtenidas del estudio: en el riego pre corte para la zona A 43.1 milímetros, Zona B 31 mm, para el riego pos corte en la Zona A 41.6 milímetros y Zona B 33.2 milímetros, esto permitirá conservar el beneficio/costo y reduce en 482,434.63 m³ el uso del agua por temporada de riego en Pachonté.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Reducir el tiempo de operación de los emisores de mini aspersión y aspersión cañón en riego pre corte y pos corte, a excepción del riego pre corte en la zona A con riego por aspersión debido a que el tiempo de operación es el mismo que se obtuvo en el estudio.
2. Regar el Norte de finca Pachonté y otras zonas distribuidas a lo largo de la finca con emisores de baja descarga con intensidades de riego comprendidas entre 4.8 a 14.8 mm/h para evitar problemas de encharcamiento y escorrentía.
3. Efectuar prácticas de ruptura de suelo en textura moderadamente fina a fina en vísperas de la temporada de riego para evitar compactación y favorecer la velocidad de infiltración de agua en el suelo.
4. Regar con láminas de riego obtenidas del estudio, esto permite reducir el gasto de agua.

IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Acosta, C. (2,006). *El suelo agrícola, un ser vivo*. Recuperado el 5 de febrero de: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag79266/EI%20suelo%20vivo.pdf>
2. Amaya Estévez, A., Cock, J.H., Hernández, A., e Irvine, J. (1,995). *El Cultivo de la Caña en la zona azucarera de Colombia*. Biología en CENICAÑA. Cali, CO.: CENICAÑA.
3. Bertsch, F., Mata, R. y Henríquez, C. (1,993). *Características de los diferentes órdenes de suelo presentes en Costa Rica*. Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica.
4. Cano Castañeda, R. (2,015). *Estudio de Suelos con fines de Riego en el cultivo de Caña de Azúcar (Saccharum officinarum) en las fincas de la zona dos del Ingenio Palo Gordo, Suchitepéquez*. (Trabajo de graduación). USAC. CUNSUROC. Guatemala.
5. Castillo Torres, R. O. y Silva Cifuentes, E. (2,004). *Fisiología, Floración y Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Ecuador*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. Publicación Técnica No. 3.
6. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). (2,004). *Informe anual 2002–2003*. Guatemala.
7. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). (2,012). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. En Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., y Espinosa, R. (eds.). Guatemala.


8. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). (2,016). *Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2015 – 2016*. Guatemala.
9. Centro Nicaragüense de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA). (1,995). *Morfología de la caña de azúcar*. Recuperado el 3 de marzo de 2,019 de: http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p31-62.pdf
10. *Depreciación y Amortizaciones para Efectos Fiscales en Guatemala*. (2,019). Recuperado 16 de octubre de 2,019 de: <https://www.vesco.com.gt/blog/depreciaciones-y-amortizaciones-para-efectos-fiscales-en-guatemala/>
11. Fuentes, Y. (2,003). *Técnicas de riego*. (4ta. ed.). España: Editorial Mundi-Prensa.
12. Gómez, A. (1,998). *Levantamiento detallado de suelos de la Finca Bolivia con fines de Planificación de la Ingeniería de la Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.)*. Masagua, Escuintla. Guatemala.
13. González Robles, B. R. (2,016). *Estudio de suelos con fines de Nutrición y Riego en los cultivos caña de azúcar (Saccharum officinarum) y hule (Hevea brasiliensis) en finca El Rosario, Cuyotenango, Suchitepéquez*. (Trabajo de graduación Agronomía Tropical). USAC-CUNSUROC. Mazatenango, Suchitepéquez, Guatemala.
14. Holdridge, L. R. (1,977). *Ecología basada en zonas de vida*. Trad. H. Jiménez Saa. San José, Costa Rica.
15. Humbert, R. P. (1,974). *El cultivo de la caña de azúcar*. Distrito Federal, México: Edit. CECSA.


16. Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA). (2,000). *Manual de prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelo*. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO. Ibadán. Nigeria.
17. Irungaray Guzmán, R.C. (1,997). *Uso del balance hídrico para la programación de riegos en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum spp.), bajo condiciones de San Tolimán, Sololá*. (Tesis Ing. Agr.). USAC. Facultad de Agronomía. Guatemala.
18. Israelsen, O. y Hansen, V.C. (1,985). *Principio y aplicaciones del riego*. (3ra. ed.). Traducida por A. García. Barcelona: Reverté.
19. Leitón Soubannier, J. S. (1,985). *Riego y Drenaje*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
20. Melgar, M. (2012). Desarrollo Tecnológico de la Agroindustria Azucarera y Perspectivas. En: *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Melgar M., Meneses A., Orozco H., Pérez O. & Espinosa R. (eds.). Guatemala: Editorial Artemis Edinter.
21. Monroy Morales, J. P. (2,018). *Caracterización Física de Suelos con fines de Manejo de Riego, en finca La Canoa, Diagnóstico y Servicios ingenio Palo Gordo S.A., Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala*. (Trabajo de graduación.). USAC. Facultad de Agronomía. Guatemala.
22. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2,006). *Crop Water Management for Sugarcane*. Recuperado el 6 de febrero de 2,019 de: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sugarcane.stm>
23. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2,006). *Uso del agua en Guatemala*. Recuperado el 8 de marzo de 2,019 de: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/GTM/indexesp.stm

24. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2,008). *Evapotranspiración de un cultivo de referencia*. Folleto serie Riego y Drenaje Número (56);71. Archivo electrónico.
25. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2,009). *Guía para la Descripción de Suelos*. (4a. Edición). Roma.
26. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2,019). *Propiedades físicas del suelo*. Recuperado el 3 de marzo de 2,019 de: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
27. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2,019). *Levantamiento de Suelos*. Recuperado el 4 de abril de 2,019 de: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/es/>
28. Orozco, H. (2,016). “*Siembran más variedades de caña de azúcar*”. Recuperado el 18 de octubre de 2,019 de: <https://www.pressreader.com/guatemala/prensa-libre/20160104/282187944998267>
29. Ortiz Solorio, C. A., Estrada, J. W. y Cuanalo de la C, H. E. (1,973). *Metodología de un levantamiento de suelos para dar recomendaciones a nivel parcelario*. Agrocienca. México.
30. Ortiz Solorio, C.A y Cuanalo de la C, H. E. (1,981). *Introducción a los levantamientos de suelos*. Chapingo, Mexico: Colegio de Postgraduados.
31. Paz Vergara, J. E., Vásquez, A., Iglesias, W., y Sevilla, J. C. (1,980). Root development of sugarcane cultivars H328560 and H575174 under normal conditions of cultivation and irrigation in the Chicama Valley. Proc. Int. Soc. *Sugar Cane Technol.* Perú: (ISSCT). (17); 534-540.

32. Pinto Grotemold, J. S. (2,011). *Diseño del sistema de riego por mini aspersion para Caña de Azúcar (Saccharum spp.), Diagnóstico y Servicios en la finca San Nicolás, del Ingenio Magdalena, en el parcelamiento La Máquina, Cuyotenango, Guatemala, C.A.* (Trabajo de Graduación). USAC. Facultad de Agronomía. Guatemala.
33. Sandoval, E. M., Dörner, F. J., Seguel, S. O., Cuevas, B. J. y Rivera, S. D. (2,011). *Métodos de análisis físico del suelo*. Comisión de Física de Suelos de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) del Ministerio de Agricultura de Chile.
34. Sandoval Illescas, J. (1,989). *Principios de riego y drenaje*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial Universitaria.
35. Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). (2,001). *Zonas de vida de Guatemala*. Recuperado el 16 de febrero de 2,019 de: http://ide.segeplan.gob.gt/tablas/tablas_municipal/pdfs/12_Tablas_SanMarcos/tabla_44_12.pdf
36. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2,016). *Nuevas Variedades de Caña de Azúcar*. Nota informativa sobre innovaciones en materia de productividad del sector. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
37. Silva, P. C., Herman, S. R., Garrido, S. M. y Acevedo, H. E. (2,015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Producción Agrícola. Santiago de Chile.
38. Subiros Ruiz, F. (1,995). *El cultivo de la caña de azúcar*. San José, CR.: UNED.

39. Tobías, H.A. (1,997). *Guía para la descripción de Suelos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía.
40. Trujillo Escobar, A. W. (2,017). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y Resumen de Propuestas de Inversión*. (Informe Individual del Ejercicio Profesional Supervisado). USAC. Facultad de Ciencias Económicas. Guatemala.
41. *Valores Normales de Capacidad de Campo y Coeficiente de Marchitez Permanente para Suelos de Diferentes Texturas*. (2,019). Recuperado en noviembre de 2,019 de: https://www.sioingenieria.com/sitio/contenidos_mo.php?it=372
42. Villegas, F. (1,986). *Programación de riegos en caña de azúcar mediante el método del balance hídrico*. En Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, (1,986, Cali, Col.). Memorias. ed. Carlos Buenaventura. Cali, Colombia: CENICAÑA.
43. Villota, H. (1,997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. *Revista CIAF*, 15 (1); 83-117.
44. Young, A. (1,976). *Tropical Soils and Soil Surveys*. London: Cambridge University Press.

Vo. Bo. 
Lcda. Ana Teresa de González.
Bibliotecaria CUNSUROC.



X. ANEXOS

Cuadro 19. Resultados de análisis físicos de suelo obtenidos en el laboratorio.

No.	Profundidad (cm)	Cod. Lote	arcilla %	limo %	arena %	Textura	% PMP 15 ATM	% CC 1/3 ATM	Da (g/cc)
1	0-20	0101	50.91	18.91	30.18	Arcilloso	22.65	32.14	1.00
2	20-60	0101	46.74	13.52	39.74	Arcilloso	26.14	38.17	1.12
3	0-25	0609	16.44	34.30	49.25	Franco	17.14	27.54	1.28
4	25-60	0609	36.28	20.36	43.35	Franco Arcilloso	14.7	26.8	1.29
5	0-25	1110	32.85	25.05	42.10	Franco Arcilloso	14.67	25.67	1.25
6	25-60	1110	40.32	20.53	39.15	Arcilloso	26.35	34.38	1.20
7	0-60	0903	30.75	28.73	40.53	Franco Arcilloso	15.5	25.47	1.27
8	0-60	0201	26.59	31.15	42.26	Franco	12.15	27.15	1.29
9	0-25	0204	14.38	20.77	64.85	Franco arenoso	8.32	17.23	1.46
10	25-60	0204	48.74	12.52	38.74	Arcilloso	25.50	37.54	1.15
11	0-25	0401	30.75	24.85	44.40	Franco Arcilloso	15.9	30.14	1.31
12	25-60	0401	28.69	24.73	46.59	Franco Arcilloso Arenoso	13.18	22.15	1.36
13	0-25	0404	26.34	28.53	45.13	Franco	10.35	28.45	1.31
14	25-60	0404	30.75	22.91	46.34	Franco Arcilloso Arenoso	11.19	20.57	1.37
15	0-25	0502	32.85	32.93	34.22	Franco Arcilloso	17.7	27.61	1.32
16	25-60	0502	38.79	32.97	28.24	Franco Arcilloso	18.5	29.91	1.30
17	0-25	0902	30.34	30.71	38.95	Franco Arcilloso	17.5	27.13	1.36
18	25-60	0902	26.46	26.46	47.07	Franco Arcilloso Arenoso	11.19	22.15	1.30
19	0-60	0801	42.95	31.19	25.86	Arcilloso	28.14	38.17	1.18
20	0-28	0803	18.71	34.87	46.42	Franco	11.49	25.47	1.34
21	28-60	0803	38.30	28.44	33.25	Franco Arcilloso	16.3	26.33	1.28
22	0-35	0905	8.67	45.42	45.92	Franco	12.59	25.50	1.37
23	35-60	0905	61.51	13.76	24.73	Arcilloso	26.48	37.17	1.25
24	0-30	1001	18.29	29.46	52.25	Franco Arenoso	8.94	16.38	1.41
25	30-60	1001	24.61	32.29	43.10	Franco	14.54	26.31	1.31
26	0-30	0606	10.64	36.62	52.74	Franco Arenoso	9.56	16.38	1.40
27	30-60	0606	36.82	24.33	38.86	Franco Arcilloso	15.9	28.65	1.26
28	0-20	0701	18.93	34.52	46.56	Franco	14.60	24.78	1.34
29	20-60	0701	43.18	23.96	32.86	Arcilloso	27.56	37.45	1.26
30	0-32	0612	30.98	40.37	28.65	Franco Arcilloso	16.3	28.42	1.29
31	32-60	0612	20.82	28.37	50.80	Franco	11.80	29.14	1.35
32	0-60	1201	18.29	29.46	52.25	Franco Arenoso	8.32	16.68	1.42
33	0-28	1103	8.29	24.16	67.55	Franco Arenoso	7.54	14.8	1.43
34	28-60	1103	28.90	24.04	47.06	Franco Arcilloso Arenoso	17.87	24.17	1.35
35	0-30	1106	18.20	40.86	40.94	Franco	18.95	25.68	1.33
36	30-60	1106	28.69	28.29	43.02	Franco Arcilloso	17.5	28.26	1.35
37	0-20	1301	26.63	33.86	39.52	Franco	12.59	27.18	1.29
38	20-60	1301	39.06	30.04	30.90	Franco Arcilloso	16.4	25.41	1.32
39	0-40	1404	12.70	44.95	42.35	Franco	12.33	27.34	1.34
40	40-60	1404	20.12	28.73	51.14	Franco	12.96	24.27	1.38
41	0-45	1304	18.29	29.46	52.25	Franco Arenoso	7.14	16.54	1.45
42	45-60	1304	11.92	29.07	59.01	Franco Arenoso	9.54	15.34	1.51

Fuente: CENGICANA, (2,018).

Cuadro 20. Estructuras del suelo caracterizadas en finca Pachonté durante el estudio.

No.	Profundidad (cm)	Código de Lote	Estructura	Consistencia en seco
1	0-20	0101	Grano masivo	Muy duro
	20-60	0101	Grano masivo	Muy duro
2	0-25	0609	Grano simple	Grano suelto
	25-60	0609	Grano masivo	Duro
3	0-25	1110	Grano masivo	Duro
	25-60	1110	Grano masivo	Duro
4	0-60	0903	Grano masivo	Duro
5	0-60	0201	Grano simple	Grano suelto
6	0-25	0204	Grano simple	Grano suelto
	25-60	0204	Grano masivo	Muy duro
7	0-25	0401	Grano masivo	Duro
	25-60	0401	Grano masivo	Duro
8	0-25	0404	Grano simple	Grano suelto
	25-60	0404	Grano masivo	Duro
9	0-25	0502	Grano masivo	Duro
	25-60	0502	Grano masivo	Duro
10	0-25	0902	Grano masivo	Duro
	25-60	0902	Grano simple	Grano suelto
11	0-60	0801	Grano masivo	Muy dura
12	0-28	0803	Grano simple	Grano suelto
	28-60	0803	Grano masivo	Duro
13	0-35	0905	Grano simple	Grano suelto
	35-60	0905	Grano masivo	Duro
14	0-30	1001	Grano simple	Grano suave
	30-60	1001	Grano simple	Grano suelto
15	0-30	0606	Grano simple	Grano suelto
	30-60	0606	Grano masivo	Duro
16	0-20	0701	Grano simple	Grano suelto
	20-60	0701	Grano masivo	Muy duro
17	0-32	0612	Grano masivo	Duro
	32-60	0612	Grano simple	Grano suelto
18	0-60	1201	Grano simple	Grano suelto
19	0-28	1103	Grano simple	Grano suave
	28-60	1103	Grano masivo	Duro
20	0-30	1106	Grano simple	Grano suelto
	30-60	1106	Grano masivo	Duro
21	0-20	1301	Grano simple	Grano suelto
	20-60	1301	Grano masivo	Duro
22	0-40	1404	Grano simple	Grano suelto
	40-60	1404	Grano simple	Grano suave
23	0-45	1304	Grano simple	Grano suelto
	45-60	1304	Grano simple	Grano suelto

Fuente: Autor (2,019).

Cuadro 21. Resumen de parámetros de Kostiakov-Lewis.

No.	Este	Norte	Valor de a	Valor de n	Infiltración Básica (mm/h)
1	656157	1603117	21.204	-0.547	8.91
2	658611	1600363	15.137	-0.548	6.32
3	657823	1597061	14.654	-0.507	8.07
4	657838	1600605	14.982	-0.394	17.39
5	656459	1602972	8.8602	-0.587	2.83
6	656644	1602809	18.471	-0.517	9.51
7	657370	1602663	14.654	-0.507	8.07
8	657460	1602027	26.953	-0.557	10.59
9	657849	1602259	14.654	-0.507	8.07
10	657867	1601580	21.198	-0.547	8.91
11	657616	1601159	26.953	-0.653	5.46
12	657528	1600428	15.041	-0.394	17.46
13	658072	1599915	14.982	-0.394	17.39
14	657625	1599118	18.87	-0.378	24.29
15	658386	1600926	20.874	-0.378	26.86
16	658392	1602092	13.121	-0.394	15.23
17	658027	1598683	15.654	-0.507	8.62
18	657447	1598118	21.354	-0.378	27.48
19	657601	1597640	19.364	-0.378	24.92
20	657270	1597099	16.012	-0.548	6.69
21	656914	1596649	15.121	-0.548	6.31
22	656352	1596627	20.174	-0.378	25.96
23	656839	1596089	23.241	-0.378	29.91

Fuente: Autor (2,019).

Cuadro 22. Lotes de finca Pachonté de Zona A y Zona B determinadas con el estudio de suelo.

Zona A		Zona B	
Lote	Área (ha)	Lote	Área (ha)
01-01	7.61	06-06	9.53
01-02	7.63	06-07	7.27
02-01	8.74	06-08	6.45
02-02	6.35	06-09	8.08
02-03	10.29	06-11	7.28
02-04	11.09	06-12	7.45
02-05	6.64	06-13	6.96
03-01	9.15	09-09	1.91
04-01	7.49	10-01	10.29
04-02	7.37	10-02	6.61
04-03	11.59	10-03	7.85
04-04	8.54	11-01	6.71
05-01	6.27	11-02	10.72
05-02	11.61	11-03	12.65
06-01	5.69	11-04	7.18
06-02	6.24	12-01	8.56
06-03	2.91	13-04	10.57
06-04	11.82	13-05	6.47
06-05	12.65	13-07	7.01
06-10	8.58	14-01	9.11
07-01	6.74	14-02	10.39
08-01	11.7	14-03	4.68
08-02	8.26	14-04	10.38
08-03	12.15	Total (ha)	184.11
08-04	8.23		
08-05	7.68		
08-06	12.75		
09-01	5.84		
09-02	9.17		
09-03	9.51		
09-04	10.38		
09-05	9.48		
09-07	6.53		
09-08	8.14		
09-06	10.66		
11-05	4.71		
11-06	3.85		
11-07	11.3		
11-08	9.47		
11-09	9.06		
11-10	11.68		
11-11	5.38		
13-01	9.64		
13-02	9		
13-03	6.23		
13-06	5.62		
Total (ha)	391.42		

Total General (Ha)

575.53

Fuente: Elaborado por el Autor (2,019).

Cuadro 23. Lotes de finca Pachonté aptos para riego por aspersión o mini aspersión con base a su velocidad de infiltración en el suelo.

Mini aspersión		Aspersión	
Lote	Área (Ha)	Lote	Área (Ha)
01-01	7.61	06-06	9.53
01-02	7.63	06-07	7.27
02-01	8.74	08-03	12.15
02-02	6.35	08-04	8.23
02-03	10.29	08-05	7.68
02-04	11.09	08-06	12.75
02-05	6.64	09-04	10.38
03-01	9.15	09-05	9.48
04-01	7.49	09-07	6.53
04-02	7.37	09-08	8.14
04-03	11.59	09-09	1.91
04-04	8.54	10-01	10.29
05-01	6.27	10-02	6.61
05-02	11.61	10-03	7.85
06-01	5.69	11-01	6.71
06-02	6.24	11-02	10.72
06-03	2.91	11-03	12.65
06-04	11.82	11-04	7.18
06-05	12.65	12-01	8.56
06-08	6.45	13-04	10.57
06-09	8.08	13-05	6.47
06-10	8.58	13-07	7.01
07-01	6.74	14-01	9.11
08-01	11.7	14-02	10.39
08-02	8.26	14-03	4.68
09-01	5.84	14-04	10.38
09-02	9.17	Total	223.23
09-03	9.51		
09-06	10.66		
11-05	4.71		
11-06	3.85		
11-07	11.3		
11-08	9.47		
11-09	9.06		
11-10	11.68		
11-11	5.38		
13-01	9.64		
13-02	9		
13-03	6.23		
13-06	5.62		
06-11	7.28		
06-12	7.45		
06-13	6.96		
Total (ha)	352.3		
		Total General (Ha):	575.53

Fuente: Elaborado por el Autor (2,019).



Figura 15. Extracción de muestras de suelo en trinchera.

Fuente: Autor (2,019).



Figura 16. Muestra de suelo etiquetada.

Fuente: Autor (2,019).



Figura 17. Prueba de infiltración básica.

Fuente: Autor (2,019).



Figura 18. Aforo de aspersor cañón.

Fuente: Autor (2,019).

Mazatenango, noviembre de 2,020.

M.Sc. Erick Alexander España Miranda.
Coordinador Carrera de Agronomía Tropical.
Centro Universitario del Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Respetable Maestro España:

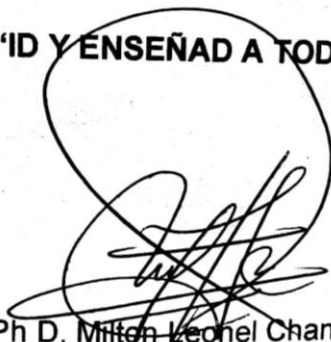
Por este medio me dirijo a usted, deseando que se encuentre gozando de buena salud.

El motivo de la presente es para informar que luego de haber asesorado y revisado el Trabajo de Graduación titulado: **“ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN FINCA PACHONTÉ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.”**; presentado por el estudiante Herber Alberto Jom García quien se identifica con número de carné 201241397 de la carrera de Agronomía Tropical, y de conformidad con lo establecido en el reglamento de Trabajo de Graduación, doy visto bueno y aprobación, para que el estudiante pueda continuar con el trámite correspondiente.

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente y sin otro particular me suscribo.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. Ph D. Milton Leonel Chan Santisteban
Profesor Asesor y Supervisor

Mazatenango, noviembre de 2,020.

Doctor:
Guillermo Vinicio Tello Cano.
Director Centro Universitario del Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su despacho.

Señor Director:

De manera atenta, me dirijo a usted para informar que el estudiante Herber Alberto Jom García, quien se identifica con número de carné 201241397 de la carrera de Agronomía Tropical, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **“ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN FINCA PACHONTÉ, MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.”**; el cuál fue asesorado, revisado y con dictamen favorable del Ingeniero Agrónomo Ph D. Milton Leonel Chan Santisteban

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante Herber Alberto Jom García, ha cumplido con el normativo de Trabajo de Graduación, razón por la que someto a consideración el documento presentado por el estudiante, para que continúe con el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Agr. M.Sc. Erick Alexander España Miranda.
Coordinador de Carrera.





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-05-2021

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, diecinueve de febrero de dos mil veintiuno_____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS CON FINES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN FINCA PACHONTÉ, MAZATENANGO SUCHITEPÉQUEZ", del estudiante: TPA. Herber Alberto Jom García, carné 201241397 CUI: 1970 91539 1001 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Lic. Luis Carlos Muñoz I
Director



/gris