

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE TRES DISTANCIAMIENTOS DE SIEMBRA Y CUATRO ÉPOCAS DE CORTE EN VETIVER (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) CON FINES DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN LA FINCA SAN PATRICIO EN EL MUNICIPIO DE LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, CA.**

JUAN IGNACIO FLORES TECÚN

GUATEMALA, ABRIL 2012

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE TRES DISTANCIAMIENTOS DE SIEMBRA Y CUATRO ÉPOCAS DE CORTE EN VETIVER (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) CON FINES DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN LA FINCA SAN PATRICIO EN EL MUNICIPIO DE LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, CA.**

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

**JUAN IGNACIO FLORES TECÚN**

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO EN  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

**GUATEMALA, ABRIL DE 2012**

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA

**RECTOR MAGNÍFICO**

Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

DECANO	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
VOCAL PRIMERO	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano
VOCAL CUARTO	Br. Lorena Carolina Flores Pineda
VOCAL QUINTO	P. Agr. Josué Antonio Martínez Roque
SECRETARIO	Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverría Escobedo

Guatemala, Abril 2012

Guatemala, Abril de 2012

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación realizado en, **Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San patricio en el municipio de la Democracia, Escuintla, GUATEMALA, CA.** como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Juan Ignacio Flores

## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

**Dios**

Padre santo quien siempre me ha bendecido para poder alcanzar mis metas.

**Mi Esposa**

Lourdes María Alfaro Rivas, por el apoyo incondicional y el ánimo constante para culminar mi carrera y alcanzar mis metas, te amo de todo corazón.

**Mi Hija**

Marcela Flores Alfaro por ser fuente de inspiración en mi vida y darme fuerzas por luchar día con día con una sola sonrisa, Te amo.

**Mis Padres**

Ester Tecún Castro y Juan José Flores, por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera y de mi vida, gracias por todos los consejos y por todas las enseñanzas.

**Mi Hermana**

Sofía Flores, por el apoyo brindado a lo largo de toda la vida, por estar ahí en los momentos que la he necesitado.

**Mis Familiares**

A mis tíos, tías, primos, primas y abuelos, en especial A mi abuelo Julio Tecún (Q.E.P.D.) siempre te llevo en mi corazón.

## **Mis Amigos y Amigas**

Gracias por cada uno de los momentos compartidos y por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera que no hubiera sido lo mismo sin uds, en especial a Julio Mora, Ruben Bautista, Jacques Herrarte, Gaby Ortiz, José Roberto Jarquín, Edgar Roldán, Andrea Rodriguez, Alvaro Ramos, Danilo Reyna, Jorge Mendez y el resto de los promo boys, y a los honorables miembros de Fat Tuesday y el siempre equipo campeón AGRONOMÍA A.

## TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

**A:**

**Dios**

Por darme salud y vida para poder alcanzar este gran triunfo en mi vida pesar de cualquier obstáculo.

**Mi Familia**

Este triunfo es de uds.

**Facultad de Agronomía**

Gracias por la gran formación académica brindada, gracias a cada uno de los que son parte de esta gloriosa facultad.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

por abrirme las puertas de esta gran casa de estudios, siempre la representaré con orgullo y responsabilidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Al Ingenio Magdalena S.A.**

Por permitir la realización de mi EPS y el financiamiento de mi trabajo de investigación; en especial a los trabajadores del Departamento de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena, Ing. Jorge Luis Juarez (Q.E.P.D.) Ing. Edgar Solares, Ing. Maco Hip, Ing. Luis Lima, Faustino Culajay, Diana, Nando, Chanana, y el Ing. José Miguel

### **A mi Esposa e Hija**

por su amor incondicional, gracias por compartir cada momento de sus vidas conmigo.

### **Ing. Marco Vinicio Fernández**

Por su valiosa supervisión durante la elaboración del documento de graduación.

### **A mi Madre**

Por haberme formado como persona y por todo lo que me has dado sin esperar nada a cambio.



## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
<b>INDICE GENERAL .....</b>	<b>I</b>
<b>INDICE DE FIGURA.....</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VIII</b>
1. DIAGNOSTICO DE LAS PLANTACIONES FLORESTALES DEL INGENIO MAGDALENA S.A.....	1
1.1 INTRODUCCION .....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 METODOLOGIA .....	4
1.3.1 Fase de Gabinete I .....	4
1.3.2 Fase de Campo .....	4
1.3.3 Fase de Gabinete II.....	4
1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	5
1.4.1 Ubicación .....	5
1.4.2 Clima.....	5
1.4.3 Zonas de vida .....	5
1.4.4 Fisiografía .....	5
1.4.5 Clasificación de Suelos .....	6
1.4.6 Descripción de las Plantaciones .....	7
1.4.7 Ubicación Geográfica de las Fincas.....	8
1.4.8 Descripción de Especies Establecidas.....	10

1.4.9	Principales Problemas Encontrados .....	13
1.4.9.1	Plagas y Enfermedades .....	13
1.4.9.2	Descripción del Manejo de las Plantaciones Forestales .....	13
1.4.9.3	Quemas Accidentales .....	14
1.5	CONCLUSIONES .....	15
1.6	BIBLIOGRAFIA .....	16
2.	Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San Patricio en el Municipio de la Democracia Escuintla .....	17
2.1	PRESENTACIÓN.....	18
2.2	INTRODUCCIÓN .....	20
2.3	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	21
2.4	JUSTIFICACIÓN.....	22
2.5	MARCO CONCEPTUAL .....	23
2.5.1	Descripción de Vetiver .....	23
2.5.2	Especies y Variedades.....	23
2.5.3	Utilidades Principales.....	24
2.5.4	Factores de Resistencia.....	25
2.5.5	Limitaciones y Enfermedades .....	25
2.5.6	Hábitat, Ecología y Cultivo .....	26
2.5.7	Reproducción.....	27
2.5.8	Uso contra la Erosión.....	28
2.5.9	Establecimiento de Barreras .....	29
2.5.10	Recuperación de Ecosistemas.....	32
2.5.11	Hojas de Vetiver como Mulching.....	32

2.5.12	Poder Calorífico .....	33
2.5.13	Poder Calorífico Superior .....	34
2.5.14	Poder Calorífico Inferior .....	34
2.6	MARCO REFERENCIAL.....	35
2.6.1	Ubicación Geográfica.....	35
2.6.1.1	Colindancias .....	36
2.6.2	Área Total .....	36
2.6.3	Características del Material Usado .....	36
2.6.4	Características Edafológicas.....	36
2.6.5	Vetas Arenosas.....	36
2.6.6	Condiciones Climáticas.....	36
2.6.7	Zonas de Vida.....	37
2.6.8	Región Fisiográfica .....	38
2.7	OBJETIVOS.....	39
2.7.1	Objetivo General .....	39
2.7.2	Objetivos Específicos.....	39
2.8	HIPÓTESIS.....	40
2.9	METODOLOGIA .....	41
2.9.1	Fases de Establecimiento del Experimento .....	41
2.9.1.1	Materiales y Métodos.....	41
2.9.1.2	Diseño.....	41
2.9.2	Fases de Evaluación del Experimento .....	41
2.9.3	Fases de Análisis de la Información .....	43
2.9.3.1	Variables de Respuesta.....	43
2.10	RESULTADOS.....	45

2.10.1	Análisis de Resultados de la Variable Biomasa .....	48
2.10.2	Análisis de la Variable Altura .....	49
2.10.3	Análisis de la Variable Crecimiento del Diámetro de Macolla .....	50
2.10.4	Análisis de la Variable Poder Calorífico .....	50
2.11	CONCLUSIONES .....	52
2.12	RECOMENDACIONES .....	53
2.13	BIBLIOGRAFÍA .....	54
2.14	ANEXOS .....	56
3.	INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO MAGDALENA S.A DEMOCRACIA, ESCUINTLA.....	61
3.1	INTRODUCCIÓN .....	62
3.2	ÁREA DE INFLUENCIA.....	63
3.3	OBJETIVOS.....	63
3.3.1	Objetivo General .....	63
3.4	SERVICIOS PRESTADOS .....	64
3.4.1	Apoyo al Manejo de las Plantaciones Forestales del Ingenio Magdalena S.A.....	64
3.4.1.1	Definición del Problema .....	64
3.4.1.2	Objetivo Específico .....	64
3.4.1.3	Metodología .....	64
3.4.1.4	Resultados .....	65
3.4.1.5	Evaluación .....	66
3.4.1.6	Constancias .....	68
3.4.2	Establecimiento de una Plantación de Vetiver (Chrysopogon Zizanioides (L) (Roberty) con fines de producción de Biomasa en la Finca Santa Elisa, La Demo- cracia, Escuintla.....	70

## PÁGINA

3.4.2.1	Definición del Problema .....	70
3.4.2.2	Objetivo Específico .....	70
3.4.2.3	Metodología .....	70
3.4.2.4	Resultados .....	71
3.4.2.5	Evaluación .....	73
3.4.2.6	Constancias .....	74

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 2.1	Mapa de Finca San Patricio..... 35
Figura 2.2	Mapa de Zonas de Vida de Holdrige ..... 38
Figura 2.3	Rendimiento de Producción de Biomasa por Distanciamiento ..... 46
Figura 2.4	Rendimiento de Producción de Biomasa por Fecha de Corte ..... 47
Figura 2.5	Relación entre Biomasa (kg) y Fechas de Corte ..... 48
Figura 2.6	Relación entre Biomasa (kg) y Distanciamiento de Siembra de Vetiver ..... 48
Figura 2.7	Crecimiento de la Altura del Vetiver..... 49
Figura 2.8	Crecimiento del Diámetro de Macolla del Vetiver Durante las Semanas de Duración de la Investigación..... 50
Figura 3.1	Levantamiento de Parcelas Permanentes en Finca San Patricio ..... 68
Figura 3.2	Trozas de Leña del Raleo de la Finca Velásquez..... 68
Figura 3.3	Resiembra de Melina (Gmelina arbórea) en la Finca Varsovia ..... 69
Figura 3.4	Limpieza Mecánica en la Finca la Felicidad ..... 69
Figura 3.5	Siembra de Vetiver (Chrysopogon Zizanioides (L) Roberty) la Finca Santa Elisa..... 74
Figura 3.6	Plantación de Vetiver (Chrysopogon Zizanioides (L) Roberty) una Semana Después de la Siembra en Finca Santa Elisa..... 74
Figura 3.7	Siembra de Vetiver (Chrysopogon Zizanioides (L) Roberty) en la Borda del Río Achíquate..... 75
Figura 3.8	Vetiver (Chrysopogon Zizanioides (L) Roberty) a los 2 Meses Después de La Siembra, Borda del Río Achíquate ..... 75

## INDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1.1 Tipo de Suelos de las Fincas.....	6
Cuadro 1.2 Ubicación Geográfica de las Plantaciones Forestales.....	8
Cuadro 1.3 Área por Finca, Especie, Año de Siembra y Número de árboles.....	9
Cuadro 1.4 Cuantificación de la Cantidad de Árboles por Especie .....	12
Cuadro 2.1 Resultados del Análisis de Varianza de la Producción de Biomasa de Vetiver (Chrysopogon Zizanioides (L) Roberty) .....	45
Cuadro 2.2 Poder Calorífico del Vetiver por Intervalo de Corte.....	50
Cuadro 3.1 Número Total de Hectáreas y Número Total de Árboles Resembrados de la Especie Melina (Gmelina Arbórea).....	66
Cuadro 3.2 Número de Hectárea Aplicadas por Finca .....	67

**Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San patricio en el municipio de la Democracia, Escuintla, Guatemala, CA.**

**RESUMEN**

Este trabajo de graduación es el resultado del Ejercicio Profesional Supervisado –EPS- realizado en el año 2009 en el Ingenio Magdalena S.A.

El Ingenio Magdalena S.A. es una empresa privada dedicada principalmente al cultivo de la caña de azúcar y a la producción de azúcar; también esta empresa produce y comercializa productos de mayor valor como alcohol, energía eléctrica y alimentos proteínicos para uso animal.

Esta empresa en la búsqueda de aprovechar los recursos de la mejor manera posible, estableció en el año 2003, por medio de su departamento de Investigación Agrícola, plantaciones forestales en áreas en las cuales el cultivo de caña de azúcar no se desarrollaba de la mejor manera, ya que estas áreas son vetas arenosas las cuales carecen de las condiciones de humedad y disponibilidad de nutrientes suficientes para la caña de azúcar.

Fue así como el Ejercicio Profesional Supervisado tuvo como punto de partida la elaboración de un diagnóstico de las plantaciones forestales para establecer la situación de las mismas.

Las especies forestales establecidas fueron la Teca (*Tectona grandis*), el Palo Blanco (*Rosedendrom donell smitthii*), Matilisqueate (*Tabebuia rose*). Caoba (*Swietenia humillis*) y Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*). Dichas especies fueron elegidas ya que eran las aceptadas por el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR).

La Teca (*T. grandis*) es el árbol con más área sembrada en la mayoría de las fincas, ocupando la mayor cantidad de área (363.78 ha), seguido por el Palo blanco (*R. donell smitthii*) con un área de 26.06 ha; luego el Eucalipto (*E. camaldulensis*) con 25.61 ha sembradas, el Matilisqueate (*T. rose*) con 18.69 ha y por último la Caoba (*S. humillis*) con 5.93



ha sembradas. La semilla de estos árboles fue comprada en el Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR) y fue germinada en un vivero ubicado en el casco de la finca San Patricio en donde permanecieron los árboles hasta ser trasplantados al campo.

Estas plantaciones, han tenido un manejo tradicional, el cual incluye podas, deshijes y raleos. En cuanto a la investigación realizada, esta consistió en la evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro fechas de corte de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) *Roberty*) con fines de producción de biomasa. Esta biomasa es requerida en la planta de cogeneración de energía eléctrica, ya que durante la zafra se produce energía eléctrica de la transformación de la energía térmica resultante de la combustión del bagazo de la caña de azúcar y la producción de vapor de agua. Esta energía eléctrica es utilizada para consumo interno y como aporte a la red energética nacional; cuando no es temporada de zafra el Ingenio tiene la necesidad de comprar combustible o de quemar árboles para satisfacer la falta de material vegetal y así poder seguir con la producción de energía eléctrica.

Como resultado de esta investigación se llegó a determinar que no hubo una diferencia significativa en la producción de biomasa, con las fechas de corte y con los distanciamientos de siembra evaluados, por lo que se recomendó evaluar otros distanciamientos de siembra y otras fechas de corte, ya sea en intervalos diferentes o en edades de la planta de diferentes.

Otra de las actividades importantes dentro del ciclo del Ejercicio Profesional Supervisado – EPS- fueron los servicios los cuales se enfocaron en el apoyo al manejo de las plantaciones forestales del Ingenio, así como el establecimiento de una plantación de vetiver.

El manejo de las plantaciones se llevó a cabo a través de monitoreos constantes y supervisión de las labores que se realizaban día con día, así como la programación de otras labores a realizar según las necesidades de las plantaciones.

Por lo que a lo largo del ciclo del EPS se llevaron a cabo podas, deshijes, un raleo y limpiezas de las plantaciones forestales.

También se estableció en la Finca Santa Elisa una plantación de vetiver de 555, 238 plantas en 24 ha, para la producción de biomasa para abastecer las calderas del ingenio y contribuir a la producción de energía eléctrica.

## **CAPÍTULO I**

### **DIAGNÓSTICO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES DEL INGENIO MAGDALENA S.A.**

## 1.1. INTRODUCCION

El diagnóstico es la primera etapa del Ejercicio Profesional Supervisado en la cual se describe la situación actual de una organización, de un grupo o de una empresa o de una actividad específica, tal es el caso de las plantaciones forestales del Ingenio Magdalena, ubicado en La Democracia, Escuintla.

Las fincas del ingenio Magdalena son áreas utilizadas específicamente para la producción de caña de azúcar, pero existen áreas en las cuales este cultivo no puede ser desarrollado de manera adecuada, debido a que sus suelos son vetas arenosas las cuales carecen de humedad y nutrientes, es por eso que con fines de aprovechamiento de los recursos, en el año 2003 se decidió establecer plantaciones forestales para la producción de madera en estas áreas, para no tener ningún área improductiva dentro del Ingenio. Estas plantaciones forestales fueron establecidas bajo el programa del Instituto Nacional de Bosques (INAB), PINFOR (Programa de Incentivos Forestales), este programa tiene como principal objetivo mantener y mejorar la producción forestal sostenible incorporando a tierras de vocación forestal desprovistas de bosque.

La realización de este diagnóstico muestra la situación actual de las plantaciones forestales establecidas en el año 2003, así como su desarrollo y el manejo que estas han tenido y puedan llegar a tener, para generar información que pueda llegar a ser de utilidad al departamento de investigación y al Ingenio en general.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General:**

- Conocer la situación actual de las plantaciones forestales del Ingenio Magdalena.

### **1.2.2. Objetivos Específicos:**

- Conocer las condiciones actuales de las plantaciones forestales del Ingenio Magdalena, en base al manejo que estas han recibido.
- Identificar los problemas que han afectado el desarrollo de las plantaciones forestales.
- Cuantificar la cantidad de árboles sembrados por especie.

### **1.3. METODOLOGIA**

#### **1.3.1. Fase de Gabinete I:**

En esta fase se recopiló información secundaria, por ejemplo proyectos, planes de manejo y protección; información cartográfica, climática, edafológica, entre otros. Tanto en el Ingenio Magdalena, como en el Instituto Nacional de Bosques –INAB-, Centro de Información Agronómica –CEDIA-, así como en las mismas fincas en las que se encuentran las plantaciones forestales.

#### **1.3.2. Fase de Campo**

En esta fase se realizaron visitas a las fincas donde están ubicadas las plantaciones forestales del Ingenio, con la finalidad del reconocimiento de las áreas y las instalaciones, relieve de las áreas, tipos de suelo, vegetación, entre otros.

Esto para corroborar la información obtenida en la fase de gabinete que se utilizó para el análisis posterior. También se realizaron observaciones directas en cada plantación forestal con el fin de conocer como se encuentran actualmente y cuál ha sido el manejo que se les ha dado, así como también se tomaron datos faltantes, como por ejemplo áreas forestales de algunas fincas de las cuales no se tenía el dato; fue tomado en cuenta el proceso de desarrollo de las plantaciones así como los factores que han influenciado dicho proceso ya sea de forma positiva o negativa. Se realizaron sondeos, que consistieron en pláticas informales con los trabajadores que han trabajado en las diferentes plantaciones forestales.

#### **1.3.3. Fase de Gabinete II:**

En esta fase se organizó y se tabuló la información recabada en la fase de gabinete I y en la fase de campo, con el objetivo de actualizar datos e ir sistematizando información.

## **1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1.4.1. Ubicación**

Las plantaciones forestales están ubicadas en fincas las cuales son propiedad del Ingenio Magdalena, ubicado en el municipio de La Democracia perteneciente al departamento de Escuintla el cual está ubicado en la región sur del país, a 92 km de la ciudad capital, Guatemala.

### **1.4.2. Clima**

El clima para la mayoría de fincas donde se encuentran las plantaciones forestales, según la metodología de Thornthwaite, es cálido, sin estación fría bien definida, clima húmedo con invierno seco. Las características climáticas de la región contemplan una temperatura media anual de 27 a 28 grados centígrados, con una precipitación promedio de 1200 a 1600 mm ./ año. Los meses con menor precipitación son de noviembre a abril. Las temperaturas máximas se observan desde el mes de marzo a agosto y las menores temperaturas en diciembre y enero. (Orozco et al) 1995.

### **1.4.3. Zonas de Vida**

La zona de vida según Holdrige, es una zona de vida húmeda sub-tropical, con zonas de transición sub- húmeda con partes de humedad semiárida (Orozco et al 1995).

### **1.4.4. Fisiografía**

La zona de estudio se ubica en la región fisiográfica de la Llanura Costera del Pacífico, que comprende el material aluvial cuaternario, que cubre estratos de la plataforma continental, los ríos que corren desde el altiplano volcánico, arrastran gran cantidad de materiales; que al cambiar de pendiente son depositados, formando una planicie de poca ondulación y de aproximadamente unos cincuenta kilómetros a lo largo de la costa del pacífico. (Orozco et al) 1995.

### 1.4.5. Clasificación de suelos

En la zona cañera del sur de Guatemala existen 6 órdenes, 26 subgrupos y 37 familias de suelos. Los 4 órdenes más importantes en el área representan 34 familias y 23 subgrupos de suelos (Brolo,2004).

**Cuadro 1.1. Tipo de suelos de las fincas**

<b>FINCA</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>
La Felicidad	Entisol
Luceros	Entisol
Varsovia 1	Andisol
San Patricio	Entisol
Velásquez	Molisol

Fuente: Departamento de SIG y Maestro de variedades 2008-2009 Ingenio Magdalena, S.A

#### a. Andisoles

Ocupan el 26% del área y se encuentran en el cuerpo y ápice de los abanicos al pie de la cadena montañosa, su origen son cenizas volcánicas. El relieve es ligero a fuertemente ondulado en las partes altas y ligeramente inclinado en el cuerpo de los abanicos. Son suelos poco evolucionados de color muy oscuro, con altos contenidos de materia orgánica, de baja densidad aparente, consistencia friable a suelta, desarrollados principalmente sobre materiales amorfos. Reacción ácida a ligeramente ácida y de alta calidad de retención de fósforo. Textura franca a franco arenosa (Brolo, 2004).

#### b. Mollisoles

Se encuentran en el cuerpo y pie de los abanicos, cerca de la planicie costera en relieve ligeramente plano a plano. Presentan un horizonte superficial grueso de color oscuro, rico en materia orgánica, saturación de bases mayor de 50% en todos sus horizontes y un grado de estructuración de moderado a fuerte. Predominan las texturas franco arenosas, franca y franco arcillo arenosa, y de subsuelo frecuentemente arenoso. El ph varía de ligeramente ácido a neutro (Brolo,2004).

#### c. Entisoles

Ocupan aproximadamente 11% de la zona costera, son los suelos arenosos evolucionados, se encuentran en los valles y explayamientos aluviales en forma de fajas angostas son suelos permeables de texturas gruesas y arenosas. El subsuelo es generalmente arenoso y gravilloso incluidas las vetas arenosas. Presentan déficit de agua durante la estación seca (Brolo,2004).

#### 1.4.6. Descripción de las Plantaciones:

Las plantaciones forestales del Ingenio Magdalena fueron establecidas en betas arenosas, en estas áreas se tenía establecido el cultivo de la caña de azúcar como en la mayoría de los campos del Ingenio, pero se tomó la decisión de quitar el cultivo de caña de azúcar de estas áreas e introducir otro tipo de plantaciones, ya que no se desarrollaba de manera adecuada y su productividad era deficiente.

Entre las especies forestales establecidas encontramos la Teca (*Tectona grandis*), el Palo Blanco (*Rosedendrom donell smitthii*), Matilisguate (*Tabebuia Rose*). Caoba (*Swietenia Humillis*) y Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*). Dichas especies fueron elegidas ya que eran las aceptadas por el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR).



### 1.4.7. Ubicación Geográfica de las Fincas

Las plantaciones forestales se encuentran ubicadas en las fincas: San Patricio, Velásquez sector 1 y 3, La Felicidad sector 1 y 3, Luceros y Varsovia 1, San marcos viñas, el Cobano y la Llave las cuales están ubicadas en el municipio de La Democracia, departamento de Escuintla; encontrándose el casco de cada una en las siguientes coordenadas:

**Cuadro 1.2. Ubicación geográfica de las plantaciones forestales**

<b>Finca</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud (MSNM)</b>	<b>Área Total</b>
Velásquez	90° 59' 40.90" W	14° 15' 6.93" N	225	95.22
San Patricio	90° 57' 46.55" W	14° 7' 33.08" N	56	138.36
Felicidad	90° 59' 5.83" W	14° 0' 29.75" N	25	213.71
Luceros	90° 58' 5.18" W	14° 1' 51.77" N	30	5
Varsovia 1	90° 54' 44.50" W	14° 1' 36.41" N	26	6.06

Fuente: Departamento de SIG Ingenio Magdalena, S.A

Para cuantificar el área de las plantaciones forestales por finca y por especie en cada finca fue necesario no solamente realizar recorridos de reconocimiento en cada plantación, sino también revisar la base de datos del departamento de investigación y del departamento de SIG del Ingenio. Esta información dio a conocer cual es la especie sembrada en mayor cantidad de área.

**Cuadro 1.3. Área por finca, especie, año de siembra y número de árboles.**

<b>Año</b>	<b>Finca</b>	<b>Especie</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Distanciamiento</b>	<b>No. De árboles/ Área (ha)</b>
2003	San Patricio	Palo Blanco	20.43	3 x 3	22, 700
2003	San Patricio	Teca	18.22	3 x 3	20,244
2003	San Patricio	Teca	20.85	3 x 3	23,166
2003	Los Luceros	Mixto	5.00	3 x 3	5,555
2003	Varsovia	Matilisguate	5.00	3 x 3	5,555
2004	San Patricio	Palo Blanco	4.65	3 x 3	5,166
2004	San Patricio	Teca	13.11	3 x 3	14,566
2004	San Patricio	Teca	10.87	3 x 3	12,077
2004	San Patricio	Teca	27.01	3 x 3	30,011
2004	Velasquez	Matilisguate	0.37	3 x 3	411
2004	Velasquez	Teca	18.21	3 x 3	20,233
2004	Velasquez	Matilisguate	1.71	3 x 3	1,9
2004	Velasquez	Teca	27.56	3 x 3	30,622
2004	Velasquez	Teca	3.75	3 x 3	4,166
2004	La Felicidad	Teca	15.32	3 x 3	17,022
2004	La Felicidad	Mixto	10.11	3 x 3	11,233
2004	La Felicidad	Matilisguate	11.09	3 x 3	12,322
2005	Velasquez	Matilisguate	0.52	3 x 3	577
2005	Velasquez	Palo Blanco	0.98	3 x 3	1,088
2005	Velasquez	Caoba Caya	5.93	3 x 3	6,588
2005	Velasquez	Teca	21.35	3 x 3	23,722
2005	La Felicidad	Teca	33.00	3 x 3	36,666
2005	La Felicidad	Mixto	3.17	3 x 3	3,522
2005	La Felicidad	Teca	29.02	3 x 3	32,244
2005	La Felicidad	Teca	25.56	3 x 3	28,4
2005	La Felicidad	Eucalipto	1.33	3 x 3	1,477
2005	San Patricio	Eucalipto	3.57	3 x 3	3,966
2006	San Patricio	Eucalipto	19.65	3 x 3	21,833
2006	Velasquez	Teca	14.84	3 x 3	16,488
2006	La Felicidad	Teca	37.60	3 x 3	41,777
2006	La Felicidad	Teca	6.90	3 x 3	7,666
2006	La Felicidad	Teca	40.61	3 x 3	45,122
2006	Varsovia	Eucalipto	1.06	3 x 3	1,177

La especie con mayor área sembrada es la Teca (*T. grandis*), con un área de 363.78 ha, sumando un total de 404,200 árboles sembrados. Las fincas en las cuales se sembró mixto se sembraron con Eucalipto (*E. camaldulensis*), con Teca (*T. Grandis*), y Palo blanco (*R. donell smitthii*) a un mismo distanciamiento de 3 m X 3 m.

#### **1.4.8. Descripción de Especies Establecidas**

La vegetación introducida de las fincas son la Teca (*T. Grandis*), el Palo Blanco (*R. donell smitthii*), Matilisqueate (*T. Rose*), Caoba (*S. Humillis*) y Eucalipto (*E. camaldulensis*).

La Teca (*T. Grandis*), tiene su origen en las Indias Orientales, específicamente en la India, Malasia, y Birmania, entre otras regiones del Sureste de Asia

La teca tiene una densidad entre 650 y 750 kg/m<sup>3</sup>, con una media de 690 kg/m<sup>3</sup> al 12% de humedad. Se considera una madera pesada y de dureza media. Tiene una resistencia media a la flexión, poca rigidez y resistencia al impacto, una resistencia alta a la compresión y un grado moderado de doblado con vapor.

La teca disfruta de muy buena reputación, bien merecida, por su alta resistencia y durabilidad. Presenta una gran estabilidad en ambientes cambiantes, no se agrieta ni se pudre, y resiste a la acción de los hongos, xilófagos e incluso a algunos ácidos. Estas características son las que hacen posible que la madera de teca esté considerada como una de las más valiosas del mundo y goce así de múltiples aplicaciones: chapas para recubrimientos decorativos, mobiliario y ebanistería, carpintería interior: suelos, frisos, escaleras, carpintería exterior: revestimientos, ventanas, construcción naval: embarcaciones ligeras, puentes: elementos en contacto con el suelo o el agua, tornería: piezas curvadas, recipientes resistentes a los ácidos

La madera de Palo Blanco es de las llamadas maderas claras. Es de color amarillo pálido o cremoso con líneas intercaladas de rojo, anaranjado y café. El grano puede ser recto, cruzado o en ondas. Cuando tiene el grano cruzado hace variaciones de espejismo al cambiar los ángulos de la luz. Es de textura media. No tiene olor. Se trabaja bien con herramientas de mano así como con máquinas. Sostiene clavos, tornillos y pegamento. Es

de mediana resistencia al dobléz, la madera es suave su peso y densidad son moderados. Se utiliza en muebles, gabinetes, pisos, armarios, chapas decorativas, plywood, paneles.

El Matilisguate (*T. Rose*) es una madera del duramen es de color café claro hasta castaño oscuro y el sámago es rosado pálido. Tiene grano recto con textura fina. Es una madera fácil de trabajar con herramientas manuales y maquinaria. Se trabaja bien con herramientas manuales y máquinas. Es una madera muy durable, tiene muy buena resistencia al ataque de insectos. Se usa para construcción de barcos, muebles para exteriores e interiores, pisos, paneles, plywood.

La madera de caoba (*S. Humillis*) es de color café rojizo y se oscurece con el tiempo. Tiene grano recto con textura pareja. Es una de las mejores maderas del mundo para trabajar, pues se deja trabajar muy bien por cualquier tipo de herramientas o maquinaria. Muy buena durabilidad, es una madera dura, fuerte y densa. No se pudre ni es susceptible a ataques de insectos. Se utiliza para muebles finos, gabinetes, pisos, barcos, armarios, chapas decorativas, plywood, muebles de exteriores.

El Eucalipto (*E. camaldulensis*) es un árbol de elevada talla, llega a alcanzar los 50 m de altura y los 1,50 m de diámetro medido a 1,30 m de altura sobre el suelo. Se caracteriza y reconoce fácilmente por su corteza, que se desprende en tiras que, tras permanecer colgado del árbol durante un cierto tiempo, acaban por caer al suelo tras la presión del viento, dejando ver al exterior una nueva corteza de color blanco-plateado.

**Cuadro 1.4. : Cuantificación de la cantidad de árboles por especie.**

<b>ESPECIE</b>	<b>ÁREA TOTAL (ha)</b>	<b>No. de ARBOLES</b>
Teca ( <i>Tectona grandis</i> )	363.78	404, 200
Palo Blanco ( <i>Rosedendrom donell smitthii</i> )	26.06	28, 954
Eucalipto ( <i>Eucalyptus camaldulensis</i> ).	25.61	28, 455
Matilisguate ( <i>Tabebuia Rose</i> )	18.69	20, 766
Caoba ( <i>Swietenia Humillis</i> )	5.93	6, 588

La Teca (*T. Grandis*) es el árbol con más área sembrada en la mayoría de las fincas, ocupando la mayor cantidad de área (363.78 ha), seguido por el Palo blanco (*R. donell smitthii*) con un área de 26.06 ha; luego el Eucalipto (*E. camaldulensis*) con 25.61 ha sembradas, el Matilisguate (*T. Rose*) con 18.69 ha y por último la Caoba (*S. Humillis*) con 5.93 ha sembradas. La semilla de estos árboles fue comprada en el Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR) y fue germinada en un vivero ubicado en el casco de la finca San Patricio en donde permanecieron los árboles hasta ser trasplantados al campo.

Las primeras plantaciones fueron establecidas en el año 2003, y se ha venido sembrando hasta la fecha por lo que existen árboles de 6, 5, 4, 3 y 2 años de edad.

En las plantaciones se pueden encontrar árboles con alturas hasta de 14 m en las plantaciones con mayor edad y árboles de 3 m en las plantaciones de menor edad.

Algunas de las plantaciones forestales del Ingenio fueron establecidas bajo el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) del Instituto Nacional de Bosques. Estas plantaciones son las establecidas en finca San Patricio, Velásquez y La Felicidad.

Existen otras que fueron establecidas bajo otro programa del INAB, el programa de compromisos forestales, estas plantaciones se encuentran en las fincas Varsovia y Las Delicias (de la Administración Velásquez).

#### **1.4.9. Principales Problemas Encontrados**

##### **1.4.9.1. Plagas y Enfermedades**

Las plantaciones forestales se encuentran en buenas condiciones fitosanitarias, pero aún así no está a salvo de la presencia de plagas y enfermedades.

Según los registros revisados, en las plantaciones de Teca (*T. Grandis*) se pudo observar un tipo de enfermedad descendente, que empezaba marchitando el ápice del árbol y luego hacía que perdiera todas sus hojas y dejaba el árbol completamente seco. No se realizó ningún tipo de análisis para saber qué enfermedad era y el control que se realizó fue el de cortar los árboles afectados y quemarlos para así eliminar cualquier tipo de restos de la enfermedad.

##### **1.4.9.2. Descripción del Manejo de las Plantaciones Forestales**

Las plantaciones forestales del Ingenio, han tenido un manejo tradicional, el cual incluye podas, deshije y raleo.

Las podas consistieron en cortar ramas de los árboles, con el propósito de producir madera limpia; es decir libre de nudos y obtener un producto de mejor calidad; mientras persistan las ramas en el tronco de un árbol, la madera producida va a tener nudos. Los nudos constituyen uno de los defectos más comunes y su presencia disminuye la calidad y el valor de la madera. Las podas se realizaron sólo hasta la mitad de la altura total del árbol, porque si se eliminaban demasiadas ramas vivas se hubiera reducido el crecimiento del árbol.

El deshije es una práctica silvicultural que consiste en la eliminación de rebrotes no deseables en un árbol plantado. Es muy importante que solo uno de ellos se desarrolle para formar un árbol grande. Si se dejan varios rebrotes, la calidad del árbol será muy pobre, pues tendrá varios troncos pero mal formados y poco desarrollados (en árboles sin deshijar, la producción de madera se reduce en calidad y cantidad). El deshije debe realizarse tan pronto como sea posible identificar el mejor rebrote. Cuando el árbol tiene un metro de altura es el momento apropiado del deshije. Se deja el mejor rebrote y de preferencia el que esté en dirección de los vientos.

El raleo consiste en la extracción de árboles con el objetivo de dejar la población adecuada y así concentrar el crecimiento de los mejores individuos. El número de raleos depende del objetivo final de la plantación y del mercado para productos provenientes de los raleos. Sin embargo ésta tecnología recomienda dos o tres raleo antes de llegar a la densidad final que debe ser de 200-250 árboles por hectárea. La manera en la que se llevaron a cabo los raleos fue cortando el 25 % de los árboles, de cada cuatro árboles se eligió el que tenía menos desarrollo o alguna mal formación y ese se cortaba.

Uno de los problemas que se han estado teniendo actualmente en las plantaciones es que al momento de hacer las podas, estas no se hicieron en el momento adecuado o se cortaron ramas muy gruesas, esto provocó que la herida expuesta sea demasiado grande y el árbol quede susceptible a plagas y enfermedades.

#### **1.4.9.3. Quemias Accidentales**

Los incendios en las plantaciones forestales son causados generalmente por dos causas: naturales y antrópicas.

Entre las causas naturales solo tienen relevancia la caída de rayos durante tormentas eléctricas, especialmente si no son acompañadas de lluvias.

Una de los problemas que más han sufrido las plantaciones forestales actualmente son los incendios por las quemias de cañaverales que rodean la plantación forestal. Se han perdido alrededor de 118 has de plantaciones forestales quemadas; estos incendios causan gran impacto ya que producen pérdidas económicas fuertes y retarda el crecimiento de la plantación; por lo que es uno de los problemas que más está afectando a las plantaciones forestales del Ingenio.

## 1.5 CONCLUSIONES

- Actualmente las plantaciones forestales se encuentran en una etapa de desarrollo en la cual han recibido manejo cultural como podas, deshijos, raleos y limpieas como parte del plan de trabajo que se tiene en las áreas.
- Se identificaron algunos problemas dentro de las plantaciones forestales siendo el principal las quemadas accidentales causadas por las quemadas de cañaverales ubicados alrededor de las plantaciones.
- Se cuantificó la cantidad de árboles sembrados por especie forestal sembrada, siendo la Teca Teca (*T. Grandis*) la especie con mayor número de árboles con 404, 200; seguido por el Palo blanco (*R. donell smithii*) con 28, 954 árboles sembrados; luego el Eucalipto (*E. camaldulensis*) con 28, 455 árboles sembrados, el Matilisque (*T. Rose*) con 20, 766 árboles y por último la Caoba (*S. Humillis*) con 6, 588 árboles sembrados.



## 1.6 BIBLIOGRAFIA

1. Brolo Feltrin, GA. 2004. Historial de la distribución de malezas en el cultivo de caña de azúcar (*Sacharum spp*) en la costa sur, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 27 p.
2. Cruz S, JR De la. 1981. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento: sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
3. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1972. Atlas Nacional de Guatemala. Guatemala. 40 p. Color.
4. INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 1988. Atlas climatológico de la República de Guatemala. Guatemala. 19 p.
5. Orozco, H; Soto, GJ; Pérez, O; Ventura, R; Recinos, M. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de la caña de azúcar (*Sacharum sp.*) en Guatemala con fines de investigación en variedades. Guatemala, centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Documento Técnico no. 6. p 33.
6. Simmons, CS; Tárano T, JM; Pinto Zúñiga, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.

## **CAPÍTULO II**

***Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver (Chrysopogon zizanioides (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San patricio en el municipio de la Democracia, Escuintla, Guatemala, C.A.***

## **2. Evaluación de tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la finca San patricio en el municipio de la Democracia, Escuintla.**

### **2.1. PRESENTACIÓN**

La presente investigación fue realizada en la finca San Patricio, propiedad del Ingenio Magdalena S.A. ubicado en el municipio de La Democracia, del departamento de Escuintla.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte en Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa.

Esta biomasa vendría a satisfacer una gran demanda de material vegetal que tiene el ingenio, la cual en el tiempo de zafra es cubierta por el bagazo de la caña de azúcar obtenido del proceso de producción de azúcar; este bagazo es quemado en las calderas para producir vapor y por medio de turbo generadores poder producir energía eléctrica.

Para el ensayo se utilizó la gramínea de la familia *Poaceae*, Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty), la cual fue sembrada en una veta arenosa ubicada en la finca San Patricio, estas áreas no pueden ser utilizadas para la producción de caña de azúcar ya que no satisfacen al cultivo por su poca retención de humedad y nutrientes.

El Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) fue sembrado en tres distanciamientos distintos, el primero fue en hilera doble a 0.5 m entre planta y 1 m entre surco; el segundo fue en hilera simple a 0.5 m entre planta y 1 m entre surco y el otro distanciamiento fue a 0.5 m entre planta y 0.5 m entre surco, formando así cuatro bloques, cada uno conformado por cuatro parcelas grandes, las cuales representaron las fechas de corte, y doce parcelas pequeñas las cuales eran los distanciamientos mencionados anteriormente, siendo analizadas las variables altura de la planta y diámetro de la macolla durante cada dos

semana de crecimiento, así como el poder calorífico y la biomasa producida durante los tres meses de intervalo entre cada fecha de corte propuesta.

Para evaluar las variables propuestas en la metodología, fue necesario realizar mediciones de altura y diámetro de macolla quincenalmente y en cada fecha de corte fueron tomadas muestras y enviadas al laboratorio para determinar el poder calorífico; así como el pesado de cada distanciamiento cortado para determinar la producción de biomasa.

Una vez finalizado el ciclo del ensayo el cual fue propuesto con una duración de un año, es decir cuatro cortes con intervalo de tres meses entre cada uno, por medio de un análisis de varianza se determinó que no hubo una diferencia significativa en la producción de biomasa, es decir que ni las fechas de corte ni los distanciamientos utilizados ni la interacción de los dos influyen directamente sobre la producción de biomasa de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty).

## 2.2. INTRODUCCIÓN

El Ingenio Magdalena S.A. debe cumplir con contratos para la cogeneración de energía eléctrica; esta cogeneración se puede lograr a un menor costo en el proceso o periodo de zafra que dura de 5 a 6 meses, en el cual de la caña de azúcar se puede extraer el bagazo que se utiliza para alimentar a las calderas, y las mismas puedan generar vapor, este vapor llega a los turbos los cuales lo transforman en energía.

Esta generación de energía abastece el consumo propio y a la vez se dispondrá de un excedente de energía, que será puesto a la venta, con el principal objetivo de suministrar el fluido eléctrico generado a través de su proceso termoeléctrico, hacia la red nacional de electricidad para satisfacer parte de la demanda insatisfecha en el país.

Actualmente en el periodo del año que no hay zafra, se cogenera a partir del bagazo de la caña guardado para ello y de árboles que son talados dentro del Ingenio; esta quema de árboles en gran cantidad en las calderas del ingenio, ha llevado a que exista una necesidad de contar con un vegetal que pueda producir gran cantidad de biomasa en poco tiempo.

Tomando en cuenta las propiedades de esta planta y la necesidad que se tiene de disponer de un material vegetal que produzca gran cantidad de biomasa en poco tiempo y a un bajo costo, el vetiver puede ser una alternativa para la producción de energía limpia y barata ya que es una planta que tiene un poder calorífico de 1000 BTU/pie<sup>3</sup> y se sabe que cuatro toneladas de biomasa de vetiver seca, iguala en poder calorífico a una tonelada de combustible por lo que puede ser un buen generador de energía a la hora de quemarlo en las calderas del Ingenio.

El Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) es una gramínea de la familia *Poacea* que en poco tiempo puede producir grandes cantidades de biomasa, tiene la capacidad de crecer entre 1.5 m y 2 m en 4 meses, y se adapta casi a cualquier tipo de suelo, es por ello que se ha seleccionado al vetiver para su uso como productora de biomasa; esta gran adaptabilidad del vetiver permite al ingenio utilizar áreas improductivas, estas áreas improductivas son vetas arenosas en las cuales la caña de azúcar no ha podido ser desarrollada de la mejor manera.

### 2.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad los ingenios se han diversificado en cuanto a su producción, tanto así que producen azúcar, alcohol y por medio de la cogeneración se produce energía eléctrica en función de contratos con la red de energía nacional; actualmente, en el Ingenio Magdalena S.A. la producción de esta energía se obtiene de materiales vegetales que son quemados en las calderas del ingenio, evitando así la compra de combustibles fósiles y así poder reducir costos y satisfacer la demanda de energía de los contratos que se tienen que cumplir.

Esta demanda de combustible podría ser cubierta por el vetiver, ya que es una planta que produce una gran cantidad de biomasa, la cual puede ser quemada en las calderas del Ingenio para producir energía de una manera sostenible, buscando el no tener impacto negativos en el medio ambiente. A su vez se estaría evitando la tala de árboles dentro del Ingenio ya que durante el periodo del año en el cual no hay bagazo de caña por no ser tiempo de zafra se utiliza árboles que son talados dentro del Ingenio, y que pueden tener otro uso como la producción de madera.

El vetiver es una planta que se puede adaptar a cualquier tipo de suelos, por lo que se pueden utilizar para la producción de biomasa, las áreas improductivas del ingenio, en este caso vetas arenosas en las cuales la caña de azúcar no logra satisfacer los requisitos ya que no se puede desarrollar de la mejor manera por la falta de nutrientes dentro de las mismas vetas. Lo más importante al final será saber si se podrá producir suficiente biomasa de vetiver para satisfacer esa demanda de material vegetal que se tiene que cubrir, ya que no se tiene evidencia de cuál es la manera adecuada para sembrar el vetiver, es decir, no sabemos ¿Cuál es el distanciamiento de siembra adecuado para obtener una mayor producción de biomasa? Ni ¿Cuál será el intervalo de corte adecuado para obtener mayor cantidad de biomasa? Y ¿Cuál es la energía que se puede producir a partir de un kg de biomasa obtenida? Estas preguntas que se generan son las que definen la importancia a esta investigación.

## 2.4. JUSTIFICACIÓN

El proceso de generar energía eléctrica en el ingenio implica la quema del bagazo de la caña de azúcar en las calderas del ingenio, para así poder cumplir con los contratos que se tienen para vender esta energía eléctrica; este bagazo generado en el tiempo de zafra no alcanza para satisfacer la demanda de material vegetal por lo que el ingenio se ve en la necesidad de cubrir esa demanda con árboles que son sembrados en áreas específicas del ingenio y que podrían ser utilizados para otras cosas como producción de madera.

Esta gran demanda de producción de energía eléctrica que se tiene en el Ingenio, requiere de una mayor demanda de biomasa, la cual puede ser extraída del vetiver y utilizarla en las calderas del ingenio en las temporadas en las cuales no haya bagazo por no ser tiempo de zafra o solamente para guardar el bagazo de la caña para cuando se tenga una mayor necesidad del mismo.

Para ayudar a satisfacer la demanda de biomasa en la producción de energía eléctrica puede servir el vetiver, así como para no tener áreas improductivas dentro del mismo, ya que el vetiver puede ser sembrado en las áreas en las cuales el cultivo principal, la caña de azúcar, no es productivo, estas áreas son vetas arenosas que suman un total de 10 hectáreas en las cuales el vetiver será establecido.

## **2.5. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.5.1. Descripción de Vetiver**

Planta herbácea, gramínea, perenne, sin tallo aparente, forma matas o macollas muy densas que van engordando y creciendo sin ser invasivas como otras hierbas. No tiene, ni desarrolla, rizomas o estolones. Tiene hojas largas, rígidas y sencillas, de hasta 80 cm de largo y menos de uno de ancho, glabras, sin aristas, muy resistentes y de bordes ásperos. (Smyle 1999)

Alcanza una altura desde 0.50 hasta casi dos metros. De crecimiento muy rápido, forma en poco tiempo matas (macollas) muy densas. Los cultivares más conocidos y cultivados alcanzan los dos metros de alto en menos de seis meses.

Tiene un sistema radicular extremadamente poderoso y muy resistente que crece en dirección vertical, formando una auténtica barrera y un formidable anclaje en el subsuelo, alcanzando hasta más de cinco metros de profundidad. Este sistema radicular no es invasivo y apenas se extiende hacia los lados. Las raíces son rígidas, muy largas, verticales y de grosor uniforme, similares a alambres. (Smyle, 1999)

Las raíces se adaptan a todo tipo de terrenos y penetran incluso en las capas rocosas. Son raíces muy fuertes, que forman una masa esponjosa, y muy ramificada. Esto mantiene el suelo protegido y sujeto.

Tienen una velocidad de crecimiento muy rápida, en seis meses la altura de la planta, de cultivares selectos, alcanza dos metros. Las raíces crecen igual de rápido, alcanzando de 3 a 4 metros de profundidad en el primer año. (Smyle, 1999)

### **2.5.2. Especies y Variedades**



De las 10 ó 12 especies conocidas de vetiver sólo tres se emplean en sistemas de Tecnología Vetiver (TV), para conservación de suelos, estas son *Chrysopogon zizanioides* (L) *Roberty*, *Chrysopogon nigritana* y *Chrysopogon nemoralis*. (Chomchalow, 2004)

Muy importante: *Chrysopogon nigritana* (África Subsahariana), *nemoralis* (Tailandia) y los cultivares no estériles de *Chrysopogon zizanioides* (L) *Roberty* (Norte de India), al ser fértiles, sólo deben emplearse en el área de distribución natural de los mismos. En otros lugares sólo se deben emplear los cultivares estériles de *Chrysopogon zizanioides* (L) *Roberty* originarios de material del sur de la India, que además son los únicos que se emplean también en la producción de aceites esenciales.

Los principales cultivares estériles de desarrollo rápidos son: Vallonia (Sudafrica), Monto (Australia), Sunshine (Estados Unidos) y Guiyang (China). Además estos cultivares se diferencian prácticamente sólo en el nombre, pues análisis de ADN han demostrado que no existen diferencias genéticas entre ellos, siendo todos del mismo origen. (Chomchalow, 2004)

### 2.5.3. Utilidades Principales

- Barrera contra la erosión.
- Cortavientos.
- Barrera Anti - Fuego.
- Barrera para Control de avalanchas de Agua.
- Barrera visual y acústica.
- Barrera antipolución atmosférica
- Delimitación de áreas diversas.
- Creación de presas de tierra de bajo coste.
- Prevención de Desastres Naturales.
- Mantenimiento de Taludes de Tierra.
- Control de sedimentos.
- En barrancos, pendientes y taludes, para la conservación del agua y el sustrato.
- Formación de bancales vivos y naturales.
- Prevención de corrimientos de tierras y desastres naturales.
- Control polución del agua: Muy eficiente en la absorción de N, P, Hg, Cd y Pb.

#### 2.5.4. Factores de Resistencia

- Muy resistente a la sequía y a la aridez una vez establecido, gracias a su potente sistema radicular.
- También muy resistente a las inundaciones, es capaz de estar parcialmente anegado hasta más de tres meses.
- Muy resistente a la salinidad, al sodio y al magnesio.
- Extremadamente resistente al viento.
- Apto para suelos pobres y zonas contaminadas.
- Es capaz de resistir heladas ocasionales, de hasta 9 grados bajo cero.
- Resiste también la escarcha y la nieve.
- Muy resistente al calor extremo (más de 50 ° C)
- Tolera un muy amplio rango de acidez - alcalinidad en el suelo (pH desde 3.0 hasta 11.0)
- Tolerante a la presencia en el suelo de Al, Mn, As, Cr, Cd, Ni, Pb, Cu, Se, Hg, Se y Zn.
- Resistente al pisoteo, disturbios mecánicos, fuego y cortas continuas, al estar la corona o zona de crecimiento en la base de la planta, prácticamente bajo tierra.
- Muy resistente al pastoreo. Los animales no encuentran muy agradable el consumo de esta planta. Normalmente sólo los brotes tiernos son consumidos, y eso cuando no existe otra alternativa. (Chomchalow, 2004)

#### 2.5.5. Limitaciones y Enfermedades

El vetiver es extremadamente resistente, pero tiene algunas limitaciones:

no tolera la sombra o mejor dicho, la tolera muy poco. En condiciones de sombra crece más despacio, se establece con dificultad y es más sensible a factores adversos. No se pueden establecer plantaciones bajo árboles muy densos. El vetiver no puede competir con los árboles. (Chomchalow, 2004)

En cuanto a plagas y enfermedades, es muy resistente, sólo se ve afectado en condiciones de debilidad, cuando por factores externos no crece bien. Por ejemplo la combinación de suelos muy poco profundos con sequía prolongada y, o sombra. En estas condiciones se

puede ver afectado por el ataque de algunos insectos (en sus áreas nativas), y ataques de hongos en la raíz. (Chomchalow, 2004)

Las termitas pueden ser un problema, estos insectos se sienten atraídos por las partes secas de la planta y sus nidos, que forman montículos pueden sofocar las plantas. El control es sencillo, simplemente hay que eliminar el material muerto mediante una quema anual y controlada de las barreras. (Chomchalow, 2004)

Limitada también por la falta de temperaturas altas en verano, condiciones extremas de frío en invierno (suelo congelado), la altitud, por encima de 2.500 en los trópicos y subtropical no crece bien. (Chomchalow, 2004)

### **2.5.6. Hábitat, Ecología y Cultivo**

Aunque muy apta para condiciones xéricas en cultivo, en su hábitat natural, zonas pantanosas en la India se comporta como hidrófita, es apta para terrenos tanto secos como pantanosos aunque prefiere suelos profundos y arenosos se adapta a todo tipo de suelos, incluso pedregosos o rocosos y superficiales o poco profundos.

El vetiver no tolera la sombra muy espesa. A la sombra (superior a un 40%) crece más despacio y es difícil de establecer. Las plantas se recuperan rápidamente cuando se elimina la sombra. En trópicos y subtropicales crece mejor por debajo de los 2.000 metros. Requerimiento de luz solar: Muy altos, el vetiver tienen un mecanismo fotosintético C4, igual que los cactus y algunas plantas de zonas secas y muy soleadas. (Cruz, K. 1997)

Requerimientos de suelos: acidez - alcalinidad desde muy ácido pH 3 a muy alcalino pH 11. Tolerancia muy bien metales pesados y tóxicos.

Aguas: Se da mejor en condiciones húmedas que secas, aunque una vez desarrollado es capaz de soportar tanto inundaciones como sequías largas y extremas, es por tanto una planta a la vez xerófila e hidrófita. Admite riegos con aguas de prácticamente todo tipo, incluso aguas salobres. El requerimiento de agua es escaso, debido a la extensión del sistema radicular. Se da sin necesidad de riego a partir de 300 mm de precipitaciones anuales y en zonas con una temporada de lluvias de tres meses, aunque el óptimo es a partir

de 700 mm. con una distribución de las lluvias más regular. Rango de temperaturas tolerado: desde -15° C (por un corto periodo de tiempo, heladas ocasionales) hasta más de 40° C. No crece cuando la temperatura desciende de 10 ó 15 °C. El rango óptimo es de unos 20 a 30° C. Son imprescindibles temperaturas altas en verano para un desarrollo rápido. (Chomchalow, 2004)

Abono: No es imprescindible pero sí muy aconsejable. Se puede emplear cualquier tipo de abono o fertilizante, natural o sintético. Si se emplea estiércol basta con un kilo por cada metro lineal. Si se emplean fertilizantes químicos o sintéticos basta un kilo por cada diez metros. También son muy aptos los fertilizantes de liberación lenta. El empleo de los abonos incrementa el desarrollo y velocidad de crecimiento en barreras recién establecidas. No hace falta abonar barreras ya establecidas.

Rendimiento por hectárea: Hojas hasta 100 toneladas en condiciones propicias (humedad o riegos esporádicos, suelos profundos, aportaciones fertilizantes, sol y temperatura), en zonas desfavorables, secas y pobres produce de 10 a 25 toneladas por hectárea.

Capaz de rebrotar rápidamente después de cualquier incidente o catástrofe que pueda afectar a su desarrollo (fuego, sombra, heladas continuas, anegación total, contaminación química severa, sequía o salinidad extrema).

En cultivo las plantas o barreras de vetiver ocupan muy poco espacio y no compiten con otras plantas. Las raíces se extienden sólo unos 50 cm alrededor de la planta. Sólo en casos de aguda sequía puede haber problemas de competencia, pero sólo con plantas de raíces pequeñas que estén plantadas a menos de 0.70 cm del vetiver. Además las raíces del vetiver, gracias a la acción de micorrizas con las que están asociadas incrementa de forma significativa el aporte de nitrógeno al suelo.

### **2.5.7. Reproducción**

Al no producir semilla viable la única forma de propagación posible es por vía vegetativa. La multiplicación del vetiver se realiza por medio de hijos y por Micropropagación. (Cruz, K. 1997)

La división de mata es bastante laboriosa, pero es el método más empleado. Un vivero de planta madre bien planificado es capaz de producir hasta dos millones de retoños por hectárea por año. De cada tallo o plantón se pueden producir de 25 a 50 nuevos tallos o brotes en unos 6 meses, dependiendo siempre de las condiciones climáticas, riegos o precipitaciones y calidad del suelo. (Cruz, K. 1997)

Los retoños se podan, dejando tan sólo un tallo de unos 10 cm y unas raíces de como máximo 5 cm. Estas raíces se emplean básicamente como anclaje en la nueva plantación, pues las raíces nuevas brotan directamente de la base del pseudotallo.

Los retoños deben almacenarse, por muy poco tiempo, en lugares que impidan que se sequen y enviarse al lugar de plantación o cualquier lugar del mundo en bolsas o recipientes de plástico cerrados herméticamente, a ser posible con algún tipo de sustrato que mantenga la humedad. (Cruz, K. 1997)

#### **2.5.8. Uso contra la Erosión**

El vetiver está considerada como el principal arma o recurso vegetal en el combate de la erosión en trópicos y subtropical. La erosión superficial, o laminar es responsable directa de la pérdida de millones de toneladas de suelo fértil y de millones de hectáreas de suelos forestales y de cultivo. Las zonas que conservan una cubierta vegetal natural y diversa no se ven afectadas en tan gran medida por este tipo de erosión. (Chomchalow, N. 2004)

La tecnología que se basa en el empleo del vetiver como herramienta recibe varios nombres, siendo los más habituales "VGS" Vetiver Grass Systems, en inglés y "SPV" Sistema Pasto Vetiver o simplemente "TV" Tecnología Vetiver, en español.

La forma más eficaz de lucha contra la erosión es la "Tecnología Vetiver" que consiste en el establecimiento de barreras vegetales de Vetiver. (Leupin, R. 2001.)

La "Tecnología Vetiver" es sencilla, barata, de fácil aplicación, gran efectividad, larga duración. También es de bajo coste de desarrollo y mantenimiento, y de rápida aplicación y poco impacto ambiental, sobre todo si se compara con los sistemas tradicionales de estructuras artificiales. (Leupin, R. 2001.)

Las principales aplicaciones de la "Tecnología Vetiver" son: Conservación de agua y sedimentos, estabilización de pendientes, rehabilitación de campos de cultivo, recuperación de suelos, prevención de catástrofes naturales.

Otras aplicaciones: Barreras visuales, cortavientos, creación de presas de tierra.

Las plantas de vetiver, adecuadamente dispuestas forman barreras vivas extremadamente versátiles y resistentes. Son muy resistentes y densas, controlando la escorrentía superficial de agua y sirviendo como un filtro alto, denso y muy eficaz que retiene el sustrato y sedimentos. (Leupin, R. 2001.) Estas barreras son muy fuertes. Una raíz de vetiver por sí sola es casi imposible de cortar con las manos desnudas. Pues debajo de las barreras se forma otra barrera subterránea, formada por una intrincada, poderosa y muy densa red de raíces que llegan hasta los cinco metros de profundidad y que prácticamente blindan el terreno, al mismo tiempo que lo protegen y lo enriquecen. (Leupin, R. 2001.)

Las barreras de vetiver no son impermeables, reducen la velocidad de la escorrentía, debilitando, filtrando y regulando el paso del agua, evitando la formación de surcos, cárcavas y la pérdida de suelo. Detrás de las barreras se forma una capa de sedimentos que forma un suelo generalmente de una alta fertilidad. Conforme aumentan los sedimentos, se incrementa la fertilidad, calidad y humedad del sustrato en la zona y se va formando de esta manera unas terrazas naturales con una gran capacidad productiva. El vetiver, al tener la particularidad de emitir raíces de los nódulos de los tallos sigue rebrotando, aunque se encuentre en parte cubierto de sedimentos, por tanto mientras más alta sea la capa de sedimentos atrapados más alta serán también las barreras de vetiver. (Leupin, R. 2001.)

### **2.5.9. Establecimiento de Barreras**

Establecer barreras con vetiver no es complicado, en pendientes es necesario disponer las barreras a modos de curvas de nivel, esto es uniendo los diferentes puntos de la zona que se encuentren a una misma altura.

La distancia de plantación de una planta de vetiver a la otra va en función del uso que se le pretenda dar a la barrera y del grado de inclinación de las laderas a plantar.

Es importante que el material sea fresco y de calidad, hay que protegerlo del sol y mantener con las raíces en agua incluso durante el trabajo en el campo, para favorecer el arraigo posterior. Para establecimiento rápido de barreras en zonas con gran pendiente 10 cm es suficiente (aunque puede ser menos).

Para zonas llanas, barreras visuales y cortavientos se colocan los plantones (de uno a tres tallos) a distancias de entre 15 - 35 cm. La distancia de una barrera a otra depende así mismo del grado de inclinación o pendiente. Como regla general las barreras están separadas por un metro, medido verticalmente, esto es en altura.

El grosor de la barrera depende de lo fuerte que se pretenda o del caudal que se estime debe resistir. Se suelen plantar de una a tres filas por barrera (separadas cada fila entre sí de 10 a 40 cm). (Chomchalow, 2004)

Presas de tierra: Son montículos de tierra dispuestos en cauces o zonas de gran erosión. La densidad de las plantaciones en estas presas debe de ser alta, con marcos de plantación de los plantones del orden de 10 x 10 o 10 x 15, para cubrir rápidamente toda la superficie.

Las barreras de vetiver tardan de seis meses a tres años en llegar a ser plenamente eficaces dependiendo de las condiciones climáticas, profundidad y calidad del suelo.

Época de siembra: Depende, se suelen preferir los inicios de las temporadas de lluvias. Pero puede darse el problema de que la fuerza del agua arrastre barreras recién plantadas que no han tenido tiempo de enraizar. De todas formas siempre es necesario que el suelo esté húmedo. Como mínimo es recomendable riego o lluvias durante un mes o más. (Chomchalow, 2004)

Para establecer 100 metros de barrera se pueden emplear de 100 a 900 tallos, retoños o plantones a raíz desnuda. El costo es variable y depende de variantes lógicas: coste de mano de obra, posibilidad de mecanización, accesibilidad, coste del material a plantar, necesidad de irrigación, abonos, etc.

La labor de plantación suele consistir en efectuar un agujero con la ayuda de una barra de hierro afilado, pesada y maciza que se clava y se mueve ligeramente de un lado a otro antes

de introducir el plantón. También se puede mecanizar con una máquina subsolador o un arado. (Chomchalow. 2004)

En condiciones de precipitaciones escasas da buen resultado cavar o arar primero un surco, ancho y no excesivamente profundo y disponer los plantones en el fondo del mismo con la técnica de la barra de hierro.

En lugares difíciles o poco estables como pendientes pronunciadas, cursos de agua, etc. Es más recomendable emplear plantones de vetiver ya enraizados en vivero.

Para enraizarlo se puede emplear bolsas o contenedores de plástico, personalmente preferimos bandejas forestales, pues así se logran plantones con un cepellón estrecho y afilado que resulta poco pesado, seguro y sencillo de manejar y de plantar. De esta forma se obtiene un establecimiento de las barreras prácticamente inmediato. (Chomchalow, N. 2004)



### **2.5.10. Recuperación de Ecosistemas**

Recuperar sistemas degradados es muy difícil, especialmente si se ha perdido una parte importante de suelo y las plantas propias de la zona son incapaces de recolonizar el área sin la ayuda de la intervención humana.

En estas condiciones es de gran utilidad el empleo de especies pioneras. Esto son especies de gran rusticidad que van preparando el terreno para que las plantas de zonas adyacentes puedan recolonizarlo o para evitar que fracasen los esfuerzos de reforestación.

El vetiver se comporta de manera casi perfecta. Estabiliza la zona, fomenta la recuperación de suelos, aumenta la humedad y fertilidad de los mismos. Protege los plantones de las especies autóctonas del viento, lluvia, escorrentías, calor excesivo y desecación. No compete con los mismos.

Además las plantas introducidas, conforme se vayan desarrollando irán aumentando su altura y envergadura, desplazando y sustituyendo de forma paulatina al vetiver, que no tolera la sombra. (Smyle, 1999)

Por tanto, el vetiver es una especie de la máxima utilidad en la recuperación de ecosistemas originales, especialmente cuando se emplea en combinación con las plantas autóctonas de la zona.

### **2.5.11. Hojas de Vetiver como Mulching**

El "mulching" o acolchado consiste en proteger el suelo en zonas de cultivo con restos vegetales (hojas, compost, cortezas...), minerales (grava, picón, piedras, arenas...) o artificiales (mallas agrícolas de suelo). (Bernal Eusse, J. 1994.)

La finalidad del mulching orgánico es proteger la tierra, evitar al sol directo, la desecación excesiva, promover la actividad de los microorganismos beneficiosos y el desarrollo de las raíces más superficiales. (Bernal Eusse, J. 1994.)

Las hojas de vetiver frescas, secas o compostadas, enteras, cortadas o trituradas, constituyen un mulching de primera calidad, con una gran capacidad de absorción de agua, una degradación o descomposición muy lenta (las hojas de vetiver son muy persistentes) y muy importantes propiedades fungicidas, bactericidas e insecticidas.

El mulching de vetiver estimula la actividad de la microfauna y flora beneficiosa: rizobios y micorrizas. (Smyle, J. 1999.)

El incremento en materia orgánica constatado empleando mulching de vetiver como protección del suelo ha sido muy significativo (hasta un 2% en dos años) constatándose igualmente un aumento significativo en Nitrógeno, Fósforo y Potasio. (Smyle, J. 1999.)

#### **2.5.12. Poder calorífico**

El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear, ya que para ello se usa la fórmula  $E=mc^2$ ). (Poder calorífico. 2000.)

El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos las energías utilizadas en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión. La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (abreviadamente, PCS) y poder calorífico inferior (abreviadamente, PCI). (Poder calorífico. 2000.)

La mayoría de los combustibles usuales son compuestos de carbono e hidrógeno, que al arder se combinan con el oxígeno formando dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y agua ( $H_2O$ ) respectivamente. Cuando se investigó científicamente el proceso de la combustión, se consideró que para el buen funcionamiento de las calderas donde se producía, era necesario que los gases quemados salieran por el conducto de humos a una cierta temperatura mínima para generar el tiro térmico necesario para un buen funcionamiento. Esta temperatura está

por encima de los 100 °C, por lo que el agua producida no se condensa, y se pierde el calor latente o calor de cambio de estado, que para el agua es de 2261 kilojulios (540 kilocalorías) por kilogramo de agua, por lo que hubo necesidad de definir el poder calorífico inferior, para que las calderas tuvieran, aparentemente, unos rendimientos más alentadores. (Poder calorífico. 2000.)

Por ello, se usó la denominación poder calorífico superior para el calor verdaderamente producido en la reacción de combustión y poder calorífico inferior para el calor realmente aprovechable, el producido sin aprovechar la energía de la condensación del agua y otros procesos de pequeña importancia. (Poder calorífico. 2000.)

La mayor parte de las calderas y los motores suelen expulsar el agua formada en forma de vapor, pero actualmente existen calderas de condensación que aprovechan el calor de condensación, con rendimientos mucho más altos que las tradicionales, superiores al 100% del PCI, pero, por supuesto, siempre inferiores al 100% del PCS. Sin embargo, para condensar el vapor, no pueden calentar el agua a más de unos 70 °C, lo que limita sus usos y además, solamente pueden usarse con combustibles totalmente libres de azufre (como la mayoría de los gases combustibles), para evitar condensaciones ácidas; por falta de temperatura suficiente y, por lo tanto, por falta de tiro térmico, en estas calderas la evacuación de los gases debe hacerse por medio de un ventilador. (Ventajas del aprovechamiento y quema de residuos para producción de vapor. 2009.)

### **2.5.13. Poder calorífico superior**

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase. (Poder calorífico. 2000.)

### **2.5.14. Poder calorífico inferior**

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. (Poder calorífico. 2000.)

## 2.6. MARCO REFERENCIAL

La investigación se llevó a cabo en la finca del Ingenio Magdalena San Patricio, ubicada en el Municipio de La Democracia del departamento de Escuintla.

### 2.6.1. Ubicación Geográfica

La finca San Patricio en la que se llevó a cabo la investigación se encuentran ubicada en el municipio de La Democracia en el departamento de Escuintla; sus coordenadas geográficas son:

Finca	Altitud	Municipio	X	Y
San Patricio	57 msnm	La Democracia	90° 57' 51.41" W	14° 7' 40.51" N

Figura 2.1. Mapa de Finca San Patricio



### **2.6.1.1. Colindancias**

La finca San Patricio colinda al Norte con la Finca Santa Cristina; al Sur con Santa Rita y Las Ilusiones; al Este con la Finca Buganvilla y al Oeste con la finca La Flor.

### **2.6.2. Área Total**

El área total de la finca es de:

641.44as

### **2.6.3. Características del Material Usado**

La especie que se utilizó fue *Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty, la cual es reproducida en el laboratorio de cultivo de tejidos del Ingenio Magdalena, a través de propagación in vitro.

### **2.6.4. Características Edafológicas**

Según el mapa de suelos del Ingenio Magdalena, los suelos de la finca San Patricio son suelos Entisoles; según la clasificación del Soil Taxonomy, un Entisol se define como un suelo que no muestra ningún desarrollo definido de perfiles. Un Entisol no tiene "horizontes diagnósticos", y la mayoría son básicamente su material parental regolítico inalterado.

### **2.6.5. Vetas Arenosas**

La investigación fue establecida en áreas en las cuales los suelos son vetas arenosas, estos son suelos completamente arenosos, con poca retención de humedad y nutrientes, poca compactación y mucho drenaje.

### **2.6.6. Condiciones Climáticas**

El clima según la metodología de Thornthwaite, es cálido, sin estación fría bien definida, clima húmedo y con invierno seco, el tipo de distribución de lluvia: con invierno seco, con precipitación total anual de 3,142 mm. (Orozco et al) 1995.

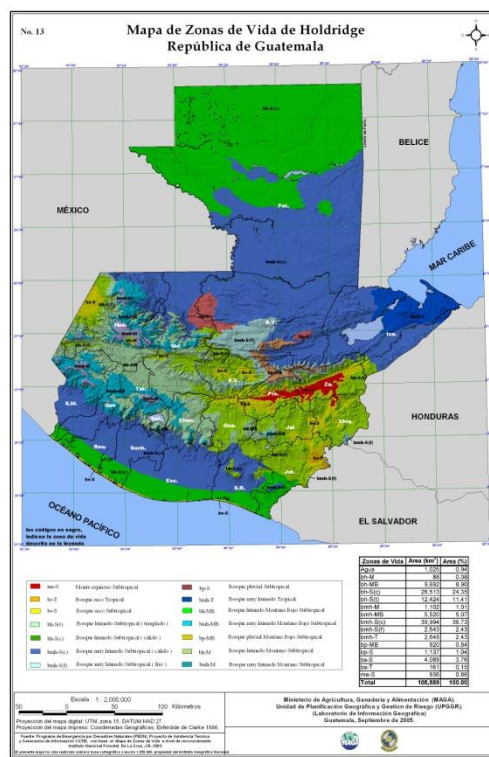
Las características climáticas de la región contemplan una temperatura media anual de 27 a 28 grados centígrados, con una precipitación promedio de 1200 a 1600 mm/año. Siendo los

meses con mayor precipitación de Mayo a Octubre, y los meses con menor precipitación de Noviembre a Abril. (Orozco et al) 1995.

### **2.6.7. Zonas de Vida**

Zonas de vida según Holdrige, es una zona de vida húmeda sub-tropical, con zonas de transición sub- húmeda con partes de humedad semiárida (Orozco et al) 1995.

**Figura 2.2. Mapa de Zonas de Vida de Holdridge**



### 2.6.8. Región fisiográfica.

La zona de estudio se ubica en la región fisiográfica de la Llanura Costera del Pacífico, que comprende el material aluvial cuaternario, que cubre estratos de la plataforma continental, los ríos que corren desde el altiplano volcánico, arrastran gran cantidad de materiales; que al cambiar de pendiente son depositados, formando una planicie de poca ondulación y de aproximadamente unos cincuenta kilómetros a lo largo de la costa del Pacífico. (Orozco et al) 1995.

## 2.7. OBJETIVOS

### 2.7.1. Objetivo General:

- Evaluar tres distanciamientos de siembra y cuatro épocas de corte para producción de biomasa en la gramínea vetiver (*Chrysopogon zizanioides (L) Roberty*) con el fin de producción de energía.

### 2.7.2. Objetivos Específicos:

- Determinar el distanciamiento de siembra adecuado para obtener una mayor cantidad de biomasa.
- Determinar la época de corte más adecuada para obtener una mayor producción de biomasa.
- Determinar la cantidad de energía eléctrica que se puede generar a partir de un kg de vetiver.



## **2.8. HIPÓTESIS**

En el cultivo de vetiver el distanciamiento de siembra y las fechas de corte tienen una relación directa sobre la producción de biomasa del mismo; mientras más espacio tenga la planta para poder absorber mayor cantidad de nutrientes y humedad del suelo, mayor será la cantidad de biomasa que pueda producir ya que la planta tendrá un mejor desarrollo y será más vigorosa; que redundará a mayor cantidad de energía almacenada.

## **2.9. METODOLOGÍA**

### **2.9.1. Fase de establecimiento del Experimento**

#### **2.9.1.1. Materiales y Métodos**

Para la realización de esta investigación se utilizó la gramínea de corte Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty), la cual fue sembrada en vetas arenosas en las cuales la caña de azúcar no se ha desarrollado adecuadamente de la finca anteriormente mencionada.

El material vegetal fue sembrado en vetas arenosas, a tres distanciamientos distintos, el primero fue en hilera doble a 0.5 m entre planta y 1 m entre surco; el segundo fue en hilera simple a 0.5 m entre planta y 1 m entre surco y el otro distanciamiento fue a 0.5 m entre planta y 0.5 m entre surco.

#### **2.9.1.2. Diseño**

El diseño que se utilizó en el campo fue un diseño Bifactorial en arreglo de parcelas divididas, dispuesto en bloques al azar.

### **2.9.2. Fase de Evaluación del Experimento**

El ensayo en la finca para la investigación fue montado en cuatro bloques o repeticiones cada uno de 768 m<sup>2</sup>, cada bloque estuvo formado por cuatro parcelas grandes, que fueron determinadas por las fechas de corte distribuidas al azar; cada parcela estuvo formada por tres sub parcelas o unidades experimentales, en cada uno de los cuales se sembró con vetiver a los diferentes distanciamientos de siembra.

Cada una de las sub parcelas de 64 m<sup>2</sup> de cada bloque fue sembrado con vetiver a diferente distanciamiento de siembra, el primer distanciamiento fue en surcos de hilera doble dejando 0.5 m entre plantas y 1 m entre surco; el segundo distanciamiento fue de 1 m entre surco y 0.5 m entre planta; y el tercer distanciamiento de 0.5 m entre planta y 0.5 m entre surco.

Las edades de corte que se evaluaron, fueron a los 3, 6, 9 y 12 meses, por lo que cada tres meses se cortó una parcela grande de cada bloque.

Al momento de cada corte se pesó la biomasa para calcular la cantidad de biomasa producida en cada distanciamiento de siembra esto para ver cuál es el distanciamiento de siembra adecuado para producir mayor cantidad de biomasa.

También se llevaron muestras al laboratorio para que fuera calculado el poder calorífico, y así poder determinar cuál fue la edad de corte adecuada para que el vetiver tenga un mayor poder calorífico y así pueda producir mayor cantidad de energía.

Por último toda la biomasa cortada fue picada en la chipiadora y posteriormente fue quemada en la caldera del ingenio, esto con el fin de producir energía basándonos en que el poder calorífico del vetiver es bastante alto para producir energía.

### **2.9.3. Fase de Análisis de la información**

Una vez obtenidos los datos de la investigación, se analizaron los resultados con diferentes herramientas estadísticas que nos ayudaron a entender de una mejor manera cual fue el comportamiento de la investigación; con la variable de respuesta biomasa, se realizó un análisis de varianza, para determinar cuál es el distanciamiento adecuado de siembra del vetiver para que este produzca mayor cantidad de biomasa.

Se realizaron gráficas de relación entre los distanciamientos, la biomasa y las fechas de corte para determinar cuál es la fecha de corte adecuada para obtener un mayor poder calorífico del vetiver, y a su vez determinar cuál es la fecha de corte en la cual se produce mayor cantidad de biomasa.

#### **2.9.3.1. Variables de Respuesta**

- **Biomasa (Kg)**

Al realizar los cortes fue pesada la biomasa de cada distanciamiento calculando la producción de biomasa del vetiver (Kg) durante los 3 meses de intervalo entre cada edad de corte; esto para determinar cuál fue el distanciamiento apropiado de siembra de vetiver para la producción de biomasa.

- **Poder calorífico**

En cada fecha de corte se mandaron muestras de 1 Kg cada una al laboratorio para que fuera calculado el poder calorífico, y así poder determinar cuál fue la edad de corte adecuada para que el vetiver tuviera un mayor poder calorífico y así poder producir mayor cantidad de energía.

- **Altura de las plantas**

Se tomó la altura de cada planta cada quince días y se determinó cuánto crece la planta en este intervalo de tiempo

- **Diámetro de macolla**

También se midió el diámetro de las macollas cada quince días, así se determinó cuanto engrosamiento de la macolla hubo durante este intervalo de tiempo.

A los datos obtenidos se les practicó un análisis de varianza (ANDEVA) al 5 % de significancia, el análisis se realizó para determinar si existen diferencias significativas sobre los distanciamientos utilizados, y cuál de los distanciamientos es con el que se obtiene mayor producción de biomasa. Así como un análisis de regresión entre biomasa (kg) y fechas de corte y entre biomasa (kg) y distanciamientos.

## 2.10. RESULTADOS

Los valores de producción de biomasa se observan en el cuadro 1A del anexo, los cuales se utilizaron para realizar el análisis de varianza (ANDEVA).

**CUADRO 2.1. : Resultados del análisis de varianza de la producción de biomasa de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (Kg.)	48	0.49	0.11	31.74

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo		4369.45		20	218.47	1.29 0.2626
Distanciamiento		248.37		2	124.19	0.89 0.4585
(Distanciamiento*Bloque)						
Bloque		886.77		3	295.59	1.75 0.1803
Distanciamiento*Bloque			836.80	6	139.47	0.83 0.5599
Fecha de corte		1206.33		3	402.11	2.38 0.0915
Distanciamiento*Fecha de c..			1191.18	6	198.53	1.18 0.3482
Error		4558.07		27	168.82	
Total		8927.53		47		

### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 139.4669 gl: 6

Distanciamiento	Medias	n	E.E.
3	42.93 16	3.25	A
2	42.13 16	3.25	A
1	37.76 16	3.25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

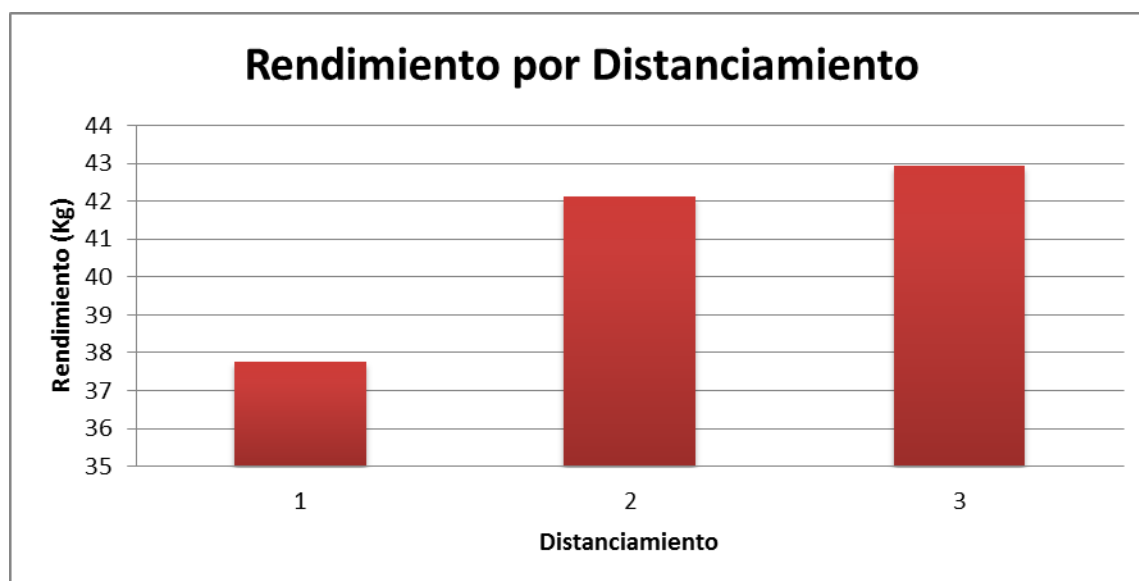
### Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 168.8176 gl: 27

Fecha de corte	Medias	n	E.E.
3	45.87 12	3.75	A
2	44.49 12	3.75	A
4	40.42 12	3.75	A B
1	32.98 12	3.75	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

Según el análisis de varianza podemos observar los resultados los cuales nos indican que no hay una diferencia significativa sobre la producción de biomasa, es decir que ni las fechas de corte ni los distanciamientos utilizados ni la interacción de los dos influyen directamente sobre la producción de biomasa de vetiver. En la prueba de medias de los distanciamientos podemos observar que en ninguno de los distanciamientos se observó una diferencia significativa en la producción de biomasa de vetiver. Mientras que en la prueba de medias de las fechas de corte podemos observar que la fecha de corte número 3 (9 meses después de la siembra) fue la que presentó mayor rendimiento; la fecha de corte número 2 (6 meses después de la siembra) fue la segunda fecha de corte con mayor rendimiento de producción de biomasa.



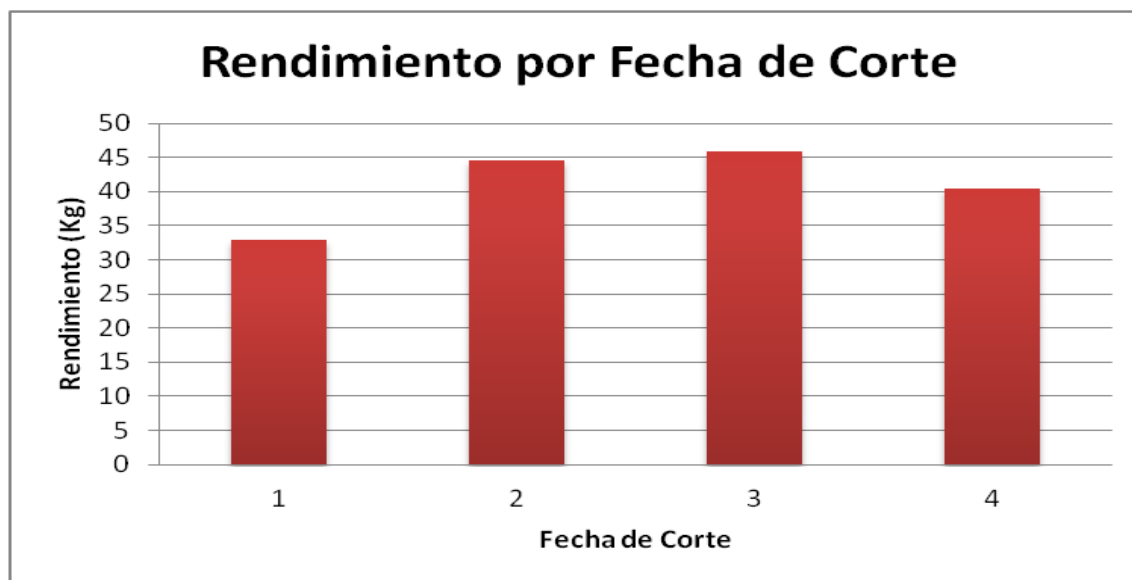
**Figura 2.3: Rendimiento de producción de biomasa por distanciamiento.**

Referencia: 1= 0.5 m entre planta X 1 m entre surco de hilera doble

2= 0.5 m entre planta X 1 m entre surco

3= 0.5 m entre planta X 0.5 m entre surco

En la figura 3 podemos observar que el rendimiento de producción de biomasa de vetiver de cada distanciamiento no tuvo diferencias significativas pero el distanciamiento con mayor producción de biomasa fue el distanciamiento número 3, el cual fue sembrado en hileras simple de 0.5 m entre surco y 0.5 m entre planta, con una media de 42.93 Kg de biomasa producida.



**Figura 2.4: Rendimiento de producción de biomasa por fecha de corte**

Referencia: 1= 3 meses después de la siembra

2= 6 meses después de la siembra

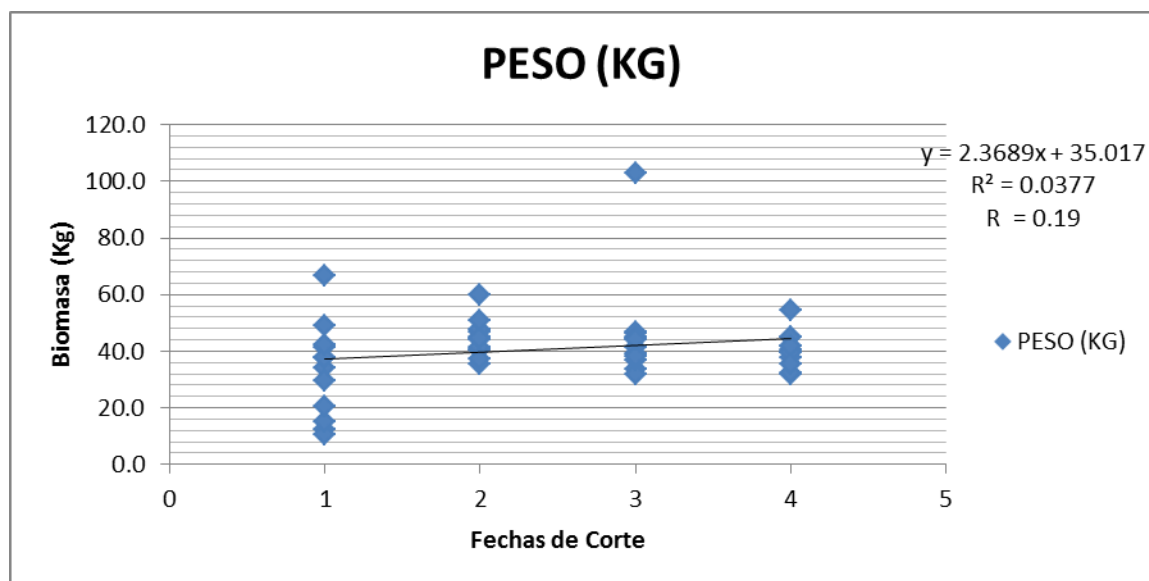
3= 9 meses después de la siembra

4= 12 meses después de la siembra

Como se observa en la figura 4, rendimiento de producción de biomasa fue mayor en la fecha de corte número 3 (9 meses después de la siembra) con una media de 45.87 Kg de biomasa producida, seguida por la segunda fecha de corte (6 meses después de la siembra) con una media de 44.49 Kg de biomasa de vetiver producida.

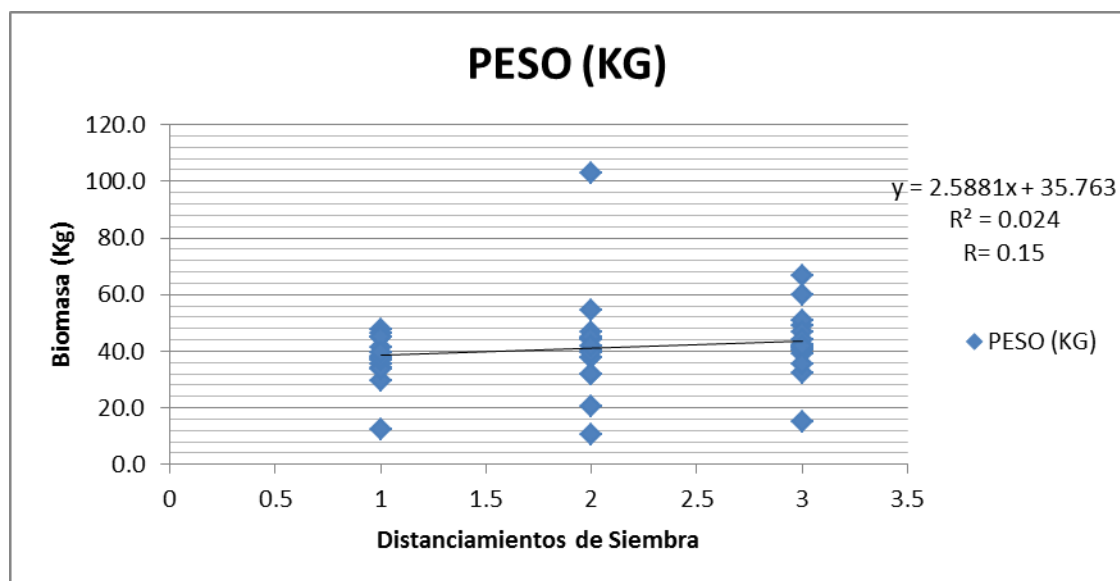


### 2.10.1. Análisis de Resultados de la Variable Biomasa



**Figura 2.5: Relación entre biomasa (kg) y fechas de corte.**

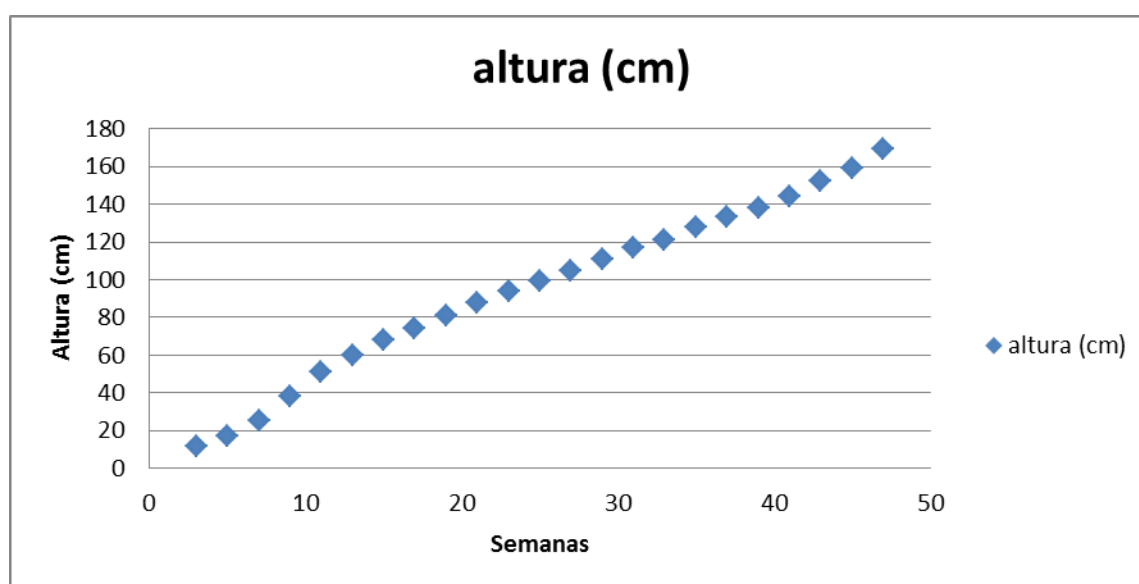
Como se puede observar en la figura 5, en donde “X” representa la fecha de corte y “Y” el peso en Kg de biomasa, el análisis de regresión calcula un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.0377$ , indicando que el modelo  $Y = 2.3689x + 35.017$  se ajusta solamente en un 3.77 % a los datos;  $R = 0.19$  nos indica que la relación entre la producción de biomasa de vetiver y las fechas de corte es solamente de un 19%.



### Figura 2.6: Relación entre biomasa (kg) y distanciamiento de siembra de vetiver.

En la figura 6, en donde “X” representa a los distanciamientos de siembra y “Y” al peso en Kg de biomasa de vetiver, se puede observar que el análisis de regresión calcula un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.024$ , indicando que el modelo  $Y = 2.5881x + 35.763$  se ajusta en un 2.4 % a los datos;  $R = 0.15$ , lo que nos da a entender que existe solamente un 15% de relación entre la producción de biomasa de vetiver y el distanciamiento de siembra del mismo.

#### 2.10.2. Análisis de la Variable Altura

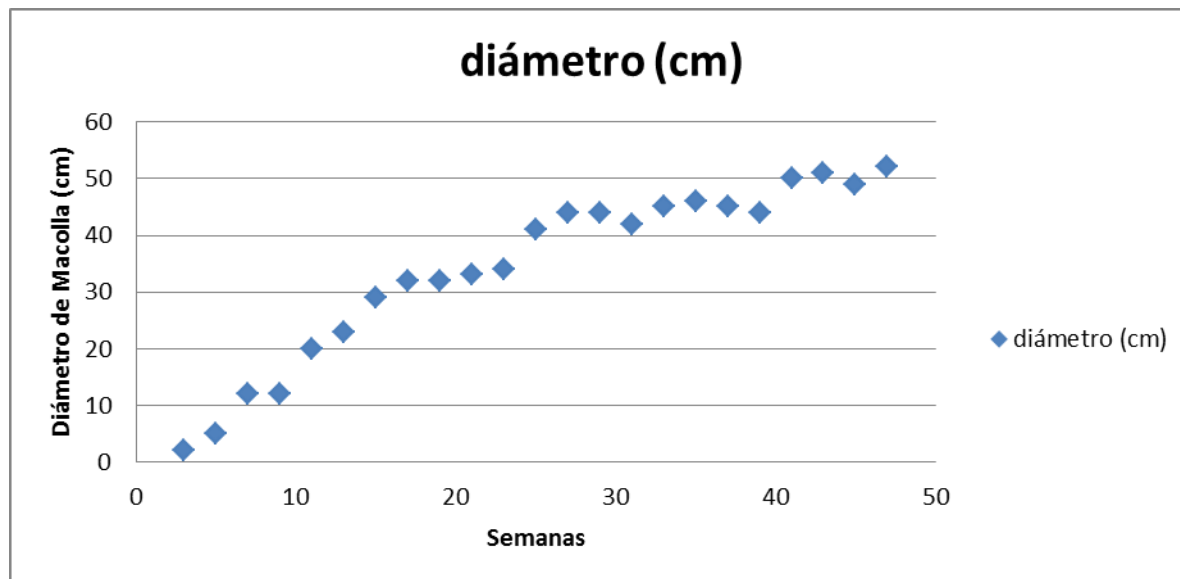


### Figura 2.7: Crecimiento de la Altura del Vetiver

Esta figura, en la que los datos en “X” representan el número de semanas de duración de la investigación y las variables en “Y” representan la altura en cm de la planta, se puede observar el crecimiento a lo largo de la duración de la investigación. Podemos observar que siempre hubo un crecimiento uniforme y que la planta no se estancó en ningún momento, creciendo entre 15 a 20 cm cada quince días.

Podemos observar que a las 10 semanas hubo un crecimiento de 40 cm, a las 20 semanas la planta presentó un crecimiento de 80 cm, a las 30 semanas presentó un crecimiento de 105 cm y a las 40 semanas un crecimiento de 140 cm.

### 2.10.3. Análisis de la Variable Crecimiento del Diámetro de Macolla



**Figura 2.8: Crecimiento del diámetro de macolla del vetiver durante las semanas de duración de la investigación.**

Esta gráfica muestra el crecimiento en centímetros del diámetro de la macolla de vetiver. Se realizaron mediciones cada 15 días para monitorear el crecimiento del diámetro de la macolla; el crecimiento del diámetro de la macolla del vetiver siempre fue en aumento y al final pudimos observar una planta con un buen engrosamiento de la macolla y de buena altura.

### 2.10.4. Análisis de la variable Poder Calorífico

**Quadro 2.2: Poder calorífico del Vetiver por intervalo de corte.**

fecha de corte	poder calorífico (Kj/Kg)	KwH/ Kg
3 mese	383,230.23	106.53
6 meses	393,152.42	109.3
9 meses	395,234.80	109.87
12 meses	390,132.30	108.45

En el cuadro 2.2, se muestra el resultado de laboratorio del análisis de poder calorífico de muestras de vetiver enviadas en cada fecha de corte realizado. Si observamos los resultados de la tabla podemos determinar claramente que al hacer la conversión de los resultados enviados por el laboratorio en Kj/Kg y convertirlos a Kwh/Kg se puede saber que a partir de un kg de biomasa de vetiver se puede obtener energía eléctrica para una bombilla de 100 watts durante una hora. Según los resultados obtenidos y mostrados en el cuadro anterior podemos considerar que el momento más adecuado para realizar el corte es a los 9 meses ya que es el momento donde se obtiene un mayor poder calorífico.

## 2.11. CONCLUSIONES

- Los distanciamientos de siembra utilizados produjeron biomasa de Vetiver sin diferencia significativa entre ellos, por lo que se rechaza la hipótesis planteada que a mayor distanciamiento se iba a producir mayor biomasa de Vetiver.
- En ninguna fecha de corte se observó mayor producción de biomasa que en otra, por lo que también se rechaza la hipótesis planteada ya que la fecha de corte no tuvo una relación directa sobre la producción de biomasa de Vetiver.
- A partir de 1 Kg de vetiver se puede generar alrededor de 100 watts de energía durante una hora, lo que equivale a 1 foco de luz de de 100 watts encendido durante una hora.

## **2.12. RECOMENDACIONES**

- Evaluar otros distanciamientos de siembra, ya que con los distanciamientos de siembra evaluados en esta investigación no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en la producción de biomasa de vetiver.
- En futuras investigaciones evaluar otras épocas de corte o intervalos de corte, ya que en los intervalos de corte evaluados en esta investigación no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la producción de biomasa de vetiver.

### 2.13. BIBLIOGRAFÍA

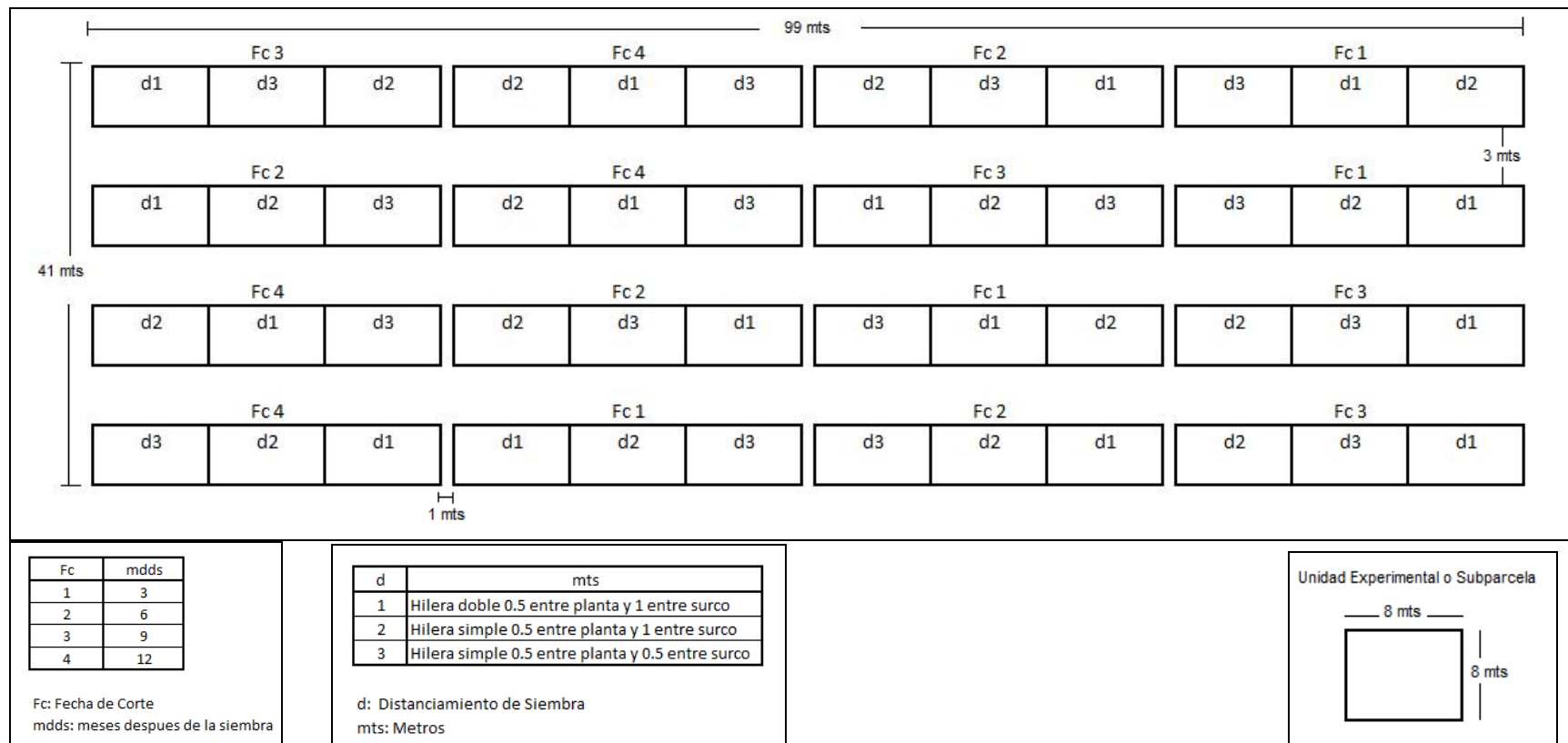
1. Bernal Eusse, J. 1994. Pastos y forrajes tropicales, producción y manejo. 3 ed. Santa Fe, Bogotá, Colombia. 135 p.
2. Cannavam Ripoli, TC; Cunali Ripoli, ML. 2009. Ventajas del aprovechamiento y quema de residuos para producción de vapor (en línea). *Tecnicaña* 13(21):24-26. Consultado 20 nov 2010. Disponible en [http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec\\_v13\\_no21\\_2009\\_p24-26.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p24-26.pdf)
3. Chomchalow, N. 2000. Techniques of vetiver propagation with special referencing to Thailand. Pacific Bangkok, Thailand, Rim Vetiver Network, Technical Bulletin no. 2, 87 p.
4. 2004. Why and why not vetiver?. In Hai, T. 2004. The *in vitro* regeneration of vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash). *Vetiverim* no. 28:1.
5. Cruz, K. 1997. Propagación del vetiver por método "*in vitro*". Maracay, Venezuela, Red Latinoamericana del Vetiver, Boletín Vetiver, Marzo:121- 137
6. Cruz S, JR De la. 1981. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento: sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
7. Davidse, G; Sousa, M; Chater, A. 1994. Flora mesoamericana. México, Universidad Autónoma Nacional de México / Missouri Botanical Garden / The Natural History Museum. 76 p.
8. Domínguez Bravo, J; Ciria, P; Esteban, LS; Sánchez, D; Lasry, P. 2003. Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España). *GeoFocus* (Informes y Comentarios) no. 3:1-10.
9. Leupin, R. 2001. *Vetiveria zizanioides*: an approach to obtain essential oil variants via tissue culture. PhD dissertation. Zürich, Swiss Federal Institute of Technology Zürich. 206 p.
10. Orozco, H; Soto, GJ; Pérez, O; Ventura, R; Recinos, M. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de la caña de azúcar (*Sacharum* sp.) en Guatemala con fines de investigación en variedades. Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 189 p.

11. Smyle, J. 1999. Experiencia mundial con el uso del vetiver para infraestructura, cuenca y uso en la finca (en línea). *In* Taller de bioingeniería para la infraestructura Port Mitch: experiencias con el uso de vetiver para la protección y estabilización de infraestructura (1999, SV). Memoria. San Salvador, El Salvador, s.e. Consultado 20 nov 2010. Disponible en <http://bellojardin.blogspot.com/2009/10/experiencia-mundial-con-el-uso-del.html> The Plant List.org. 2008. *Chrysopogon nodulibarbis* (Hoc



## 2.14. ANEXOS

### Croquis de campo



## CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

<b>Cronograma de Ejecución de Proyecto de investigación</b>																																
	<b>Marzo</b>				<b>Abril</b>				<b>Mayo</b>				<b>Junio</b>				<b>Julio</b>				<b>Agosto</b>				<b>Septiemb</b>							
	<b>Semanas</b>				<b>Semanas</b>				<b>Semanas</b>				<b>Semanas</b>				<b>Semanas</b>				<b>Semanas</b>				<b>Semanas</b>							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Delimitación del área</b>																																
<b>Medición de Parcela</b>																																
<b>Siembra</b>																																
<b>Monitoreo y toma de datos</b>																																
<b>Corte de Biomasa</b>																																

**Cronograma de Ejecución de Proyecto de investigación**

	Octubre				Noviembre				Diciemb				Enero				Febrero				Marzo				Abril			
	Semanas				Semanas				Semanas				Semanas				Semanas				Semanas							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Delimitación del área</b>																												
<b>Medición de Parcela</b>																												
<b>Siembra</b>																												
<b>Monitoreo y toma de datos</b>																												
<b>Corte de Biomasa</b>																												
<b>Análisis de información y Preparación de informe final</b>																												

REPETICIÓN	FECHA CORTE	DISTANCIAMIENTO	PESO (KG)
1	1	1	33.9
1	1	2	37.7
1	1	3	66.8
2	1	1	41.1
2	1	2	37.7
2	1	3	42.0
3	1	1	12.3
3	1	2	10.5
3	1	3	14.9
4	1	1	29.3
4	1	2	20.5
4	1	3	49.1
1	2	1	45.0
1	2	2	46.8
1	2	3	60.0
2	2	1	47.5
2	2	2	44.1
2	2	3	40.5
3	2	1	35.5
3	2	2	40.5
3	2	3	41.4
4	2	1	37.3
4	2	2	44.5
4	2	3	50.9
1	3	1	46.4
1	3	2	44.5
1	3	3	46.8
2	3	1	33.6
2	3	2	31.8
2	3	3	39.1
3	3	1	36.8
3	3	2	45.0
3	3	3	41.4
4	3	1	38.2
4	3	2	102.7
4	3	3	44.1
1	4	1	37.7
1	4	2	31.8
1	4	3	40.5
2	4	1	45.0
2	4	2	39.5

2	4	3	41.8
3	4	1	45.0
3	4	2	54.5
3	4	3	32.3
4	4	1	39.5
4	4	2	41.8
4	4	3	35.5

**Cuadro 1A: Datos utilizados para el análisis de varianza**

### **CAPÍTULO III**

## **INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO MAGDALENA S.A. LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA.**

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Los servicios prestados durante el Ejercicio Profesional Supervisado –EPS- fueron realizados en el Programa Forestal del Ingenio Magdalena S.A. ubicado en la Democracia, Escuintla, durante los meses de febrero a noviembre de 2009; estos servicios se enfocaron en el apoyo y realización de diversas labores de las plantaciones forestales del Ingenio, así como en el establecimiento de una plantación de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides (L) Roberty*) con el fin de producción de biomasa.

Para llevar a cabo estos servicios fue necesaria la realización de un plan de servicios, en el cual se describía el manejo que se tenía planeado llevar a cabo en las plantaciones forestales, el cual incluía labores como podas, raleos, limpiezas, deshijes, entre otras; además de realizar un plan de servicios se realizó un diagnóstico con el cual se identificaron los principales problemas de las plantaciones forestales así como el manejo que estas habían recibido. También se realizaron otras labores como aplicación de herbicidas para el control de malezas, esto según las necesidades o problemas que se fueron dando en las distintas plantaciones del ingenio.

Otro de los servicios prestados fue brindar apoyo al establecimiento de una plantación de vetiver con la finalidad de producción de biomasa para ser utilizada en las calderas del ingenio para producir energía eléctrica, tanto para el consumo del propio Ingenio, como para cumplir la demanda a la red nacional.

### **3.2. ÁREA DE INFLUENCIA**

Estos servicios fueron realizados en las diferentes plantaciones forestales del Ingenio Magdalena S.A. ubicadas en las fincas Velásquez, San Patricio, La Felicidad, Varsovia, Luceros, las cuales se encuentran en el municipio de La Democracia del departamento de Escuintla.

Se trabajó con el personal técnico y de campo del área forestal, del departamento de investigación agrícola.

En la finca Santa Elisa ubicada en el municipio de La Democracia del departamento de Escuintla, se llevó a cabo el establecimiento de una plantación de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) *Roberty*).

### **3.3. OBJETIVOS**

#### **3.3.1. Objetivo General:**

Contribuir con las diferentes labores que se llevan a cabo en el programa forestal del departamento de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena S.A. Así como el establecimiento de una plantación de una plantación de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) *Roberty*) con fines de producción de biomasa.



### **3.4. SERVICIOS PRESTADOS**

#### **3.4.1. Apoyo al manejo de las plantaciones forestales del Ingenio Magdalena S.A.**

##### **3.4.2.1. Definición del Problema**

El Ingenio Magdalena cuenta con plantaciones forestales, las cuales fueron establecidas con el propósito de producir madera, algunas para su comercialización como es el caso de la Teca (*Tectona grandis*), la Caoba (*Rosedendrom donell smitthii*), el Matilisguate (*Tabebuia Rose*), la Caoba (*Swietenia Humillis*) y el Palo Blanco y otros como el Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) para poder utilizarla en las calderas del Ingenio para la cogeneración de energía eléctrica. Estas plantaciones forestales fueron establecidas en áreas improductivas del Ingenio Magdalena S.A. Es por ello que es de gran importancia el monitoreo y manejo de estas áreas para conocer el desarrollo que han tenido estas plantaciones, y que se puedan seguir manteniendo con buen crecimiento y desarrollo y evitar que haya áreas improductivas.

Las labores silviculturales realizadas a las plantaciones forestales han sido determinantes en el desarrollo de las mismas por lo que es de suma importancia continuar con estas labores en los periodos que se consideren adecuadas y según las necesidades de las mismas plantaciones.

##### **3.4.2.2. Objetivo Específico**

Colaborar y apoyar en la planificación y desarrollo de las labores de manejo tales como podas, deshijes, raleos y limpiezas a realizar en las plantaciones del departamento de investigación agrícola del Ingenio Magdalena S.A.

##### **3.4.1.3. Metodología**

Se realizó un reconocimiento de las plantaciones forestales en las diferentes fincas del Ingenio en las cuales están establecidas las mismas; esto con el fin de conocer su estado, manejo, desarrollo, problemas y necesidades de las plantaciones; así como la ubicación de las plantaciones en las fincas. Para ello fue necesaria la comunicación con los supervisores de las diferentes fincas, así como con los operarios del programa forestal.

A lo largo del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) se llevó a cabo un monitoreo de las plantaciones, realizando visitas a las fincas una vez por semana, supervisando las diferentes labores que se realizaban en el momento y programando otras labores según las necesidades que se fueran observando en las plantaciones.

Para la programación de nuevas labores en las plantaciones siempre se consulto tanto al jefe de Investigación Agrícola como literatura acerca de labores silviculturales.

#### **3.4.1.4. Resultados**

Entre las labores realizadas están el levantamiento de parcelas permanentes, los raleos, resiembras, limpieza mecánica de maleza y control químico realizando aplicaciones con bomba de mochila.

Una de las labores fue el levantamiento de parcelas permanentes, en las fincas Velásquez y San Patricio, con el fin de conocer el volumen de madera en las plantaciones de estas fincas.

Se llevó a cabo un raleo en la finca Velázquez en un área de 43 ha, en una plantación de 4 años de edad, el cuál consistió en eliminar el 25% de la población, se cortaron árboles los cuales no presentaban un buen desarrollo y crecimiento o presentaban alguna enfermedad o malformación.

El raleo se realizó con el objetivo de dejar la población necesaria y así concentrar el crecimiento de los mejores individuos; la población recomendada para los proyectos PINFOR es de 200 a 250 árboles por hectárea, por lo que es necesario realizar dos o tres raleos.

Otra de las actividades realizadas fueron las resiembras con especies como la Melina (*Gmelina arborea*) en distintas fincas, esta especie se siembra entre la Teca con el fin de brindar sombra a la re siembra de Teca y también brinda madera que puede ser utilizada en las calderas del ingenio ya que la Melina (*Gmelina arborea*) es una especie de muy rápido crecimiento.

Las limpiezas de maleza se realizaron de dos formas, primero de manera mecánica y luego con aplicaciones químicas utilizando bombas de mochila; este control químico de malezas se realizó aplicando glifosato + fuerza + adherente para el control de malezas de hoja ancha y gramíneas y adherente para asegurar una buena fijación de los productos.

El crecimiento de las plantaciones depende de varios factores, entre ellos la edad de la plantación y la densidad y uno que es de suma importancia, el manejo que se dé a la plantación. Cuando se habla de manejo se refiere a las prácticas silviculturales que se lleven a cabo, tales como podas, deshijos, raleos, resiembras y limpiezas realizándose estas de manera manual, mecánica o con aplicación de productos químicos.

#### 3.4.1.5. Evaluación

Del raleo realizado en la finca Velázquez se cortó un total de 7,213 árboles de una población total de 40,627 árboles; dejando un total de 33,414 árboles. El porcentaje de árboles cortados fue del 17.75% de la población. Esperando que se lleven a cabo otros dos raleos en esta área de 43 ha ya que si hablamos que la población recomendada es de 250 árboles/ ha, el número de árboles adecuado en esta área sería de 10,750 árboles.

Las resiembras con la especie Melina (*Gmelina arborea*) fueron realizadas en las fincas Varsovia, Polonia, La Felicidad y San Patricio; el número total de árboles de esta especie resembrados fue de 52,400 árboles, distribuidos en las fincas anteriormente mencionadas de la siguiente manera y la cantidad de hectáreas fueron las siguientes:

**Cuadro 3.1. Número total de hectáreas y número total de árboles resembrados de la especie Melina (*Gmelina arborea*)**

FINCA	ÁREA (ha)	NÚMERO DE ÁRBOLES
Varsovia	1.53	1,700
Polonia	4.23	4,700
La Felicidad	26.1	29,000
San Patricio	15.3	17,000
	<b>47.16</b>	<b>52,400</b>

En la finca La Felicidad fue en donde se sembró la mayor cantidad de árboles con un número de 29,000 en un área de 26.1 ha, seguido por la finca San Patricio en la que se resembraron 17,000 árboles en un área de 15.3 ha. En menor cantidad de área se sembró en la finca Polonia, siendo resembrados 4,700 árboles en 4.23 ha y por último en la finca Varsovia se resembraron 1,700 árboles en 1.53 ha.

Otra de las actividades realizadas fue el control de malezas por medio de aplicaciones químicas, las fincas en las que se realizaron las aplicaciones y el número de hectáreas aplicadas fue el siguiente:

**Cuadro 3.2: Número de hectáreas aplicadas por finca.**

<b>FINCA</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
San Patricio	122
Velázquez	24
La Felicidad	24
Luceros	9
Varsovia	6

La finca con mayor área aplicada fue la finca San Patricio con 122 ha, seguida de las fincas Velázquez y La Felicidad con un área de 24 ha cada una; luego la finca Luceros con 9 ha aplicadas y la finca Varsovia con 6 ha aplicadas.

### 3.4.1.6. Constancias



**Figura 3.1: Levantamiento de parcelas permanentes en Finca San Patricio.**



**Figura 3.2: trozas de leña del raleo de la finca Velásquez.**



**Figura 3.3: Resiembra de Melina (*Gmelina arborea*) en la finca Varsovia.**



**Figura 3.4: Limpieza Mecánica en la Finca La Felicidad.**

### **3.4.2. Establecimiento de una plantación de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa en la Finca Santa Elisa, La Democracia, Escuintla.**

#### **3.4.2.1. Definición del Problema**

El ingenio Magdalena S.A. cuenta con una planta de cogeneración, la cual produce energía eléctrica a partir de la combustión del bagazo de la caña de azúcar; La energía eléctrica generada es utilizada para consumo interno y también es distribuida a la red energética nacional, ya que el Ingenio tiene contrato para abastecer la misma.

Esta demanda energética en la planta de cogeneración ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas de material vegetal, durante el tiempo que no haya bagazo de caña de azúcar, dígame en los meses de mayo a octubre; dada esta situación y las características del vetiver, alto poder calorífico, alta producción de biomasa en corto periodo de tiempo, se decidió establecer una plantación de vetiver en la Finca Santa Elisa, con el fin de satisfacer esta demanda de material vegetal durante la época del año que no haya bagazo de caña de azúcar.

#### **3.4.2.2. Objetivo Específico**

Establecer una plantación de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) con fines de producción de biomasa para ser usada en la planta de cogeneración.

#### **3.4.2.3. Metodología**

Esta plantación fue establecida en la finca Santa Elisa, en áreas en las cuales no hay caña de azúcar sembrada. Se empezó con la limpia y la preparación del terreno en las áreas en las que más se necesitara, por tener presencia de maleza demasiado alta y para dejar el suelo más suelto y con mayor facilidad de sembrar; en algunas áreas se realizó limpia con chapeadora y en algunas otras se realizó limpia con machete; las partes que se fueron limpiando se fueron sembrando manualmente, a distintos distanciamientos para ver cual daba mejores resultados; los distanciamientos de siembra fueron los siguientes:

- Surco de doble hilera, 1 m entre surco X 0.50 m entre planta (0.50 m entre hilera)
- Surco simple , 1 m entre surco X 0.50 m entre planta
- Surco simple, 0.50 m entre surco X 0.50 m entre planta
- Surco triple hilera, 1 m entre surco X 0.50 m entre planta (0.50 m entre hilera)
- Surco triple hilera, 1 m entre surco X 0.30 m entre planta (0.50 m entre hilera)
- Surco doble hilera, 1 m entre surco X 0.30 m entre planta (0.50 m entre hilera)

Una vez sembradas las plantas se realizaron limpiezas con machete cada vez que fue requerido, esto con el fin de evitar que la maleza evitara el desarrollo del Vetiver y así este pueda producir una buena cantidad de biomasa.

También se realizó una siembra de vetiver a orillas del río Achiguate, esto con el fin de proteger la borda del río evitando que el agua del río se desborde y causara daños al cultivo de la caña de azúcar que se encuentra cerca del río. La siembra en la ladera se realizó a una distancia de 0.5 m entre planta y 0.5 m entre surco. La razón de este distanciamiento fue que el vetiver creciera de forma espesa y así poder amarrar por medio de sus raíces el suelo y evitar el desborde.

#### **3.4.2.4. Resultados**

Se realizó la siembra de Vetiver en la finca Santa Elisa con el fin de producir biomasa y abastecer a la planta de cogeneración de material vegetal. La siembra se realizó manualmente con un rendimiento de 1,250 plantas diarias por persona.

Luego de establecida la plantación de Vetiver se realizaron siete limpiezas mecánicamente con azadón y machete, lo que ayudó a la planta a crecer a una altura promedio de 1.25 m.

También se realizó una aplicación de herbicida con bombas de mochila, aplicando los productos paraquat + adherente para el control de gramíneas en un área en la cual el vetiver ya tenía una altura superior a los 50 o 60 cm. Siendo el Vetiver una gramínea se tuvo que realizar la aplicación adaptándole a la lanza de la bomba de mochila la mitad de una pelota de plástico para evitar que el producto mojara al Vetiver.



Se estableció también una plantación de Vetiver en la borda del río Achiguate, con el fin de evitar que el río de desbordara e inundara el cultivo de caña de azúcar ubicado en los alrededores del río.

### **3.4.2.5. Evaluación**

El número total de plantas de vetiver que fue sembrado en la finca Santa Elisa fue de 555, 238 plantas en un área de 24 ha.

El número de jornales utilizados para el establecimiento de esta plantación fue de 445; utilizando 20 jornales diarios con un rendimiento de 1250 plantas diarias por jornal, por lo que se sembraban 25,000 plantas diarias.

En la borda del río Achiguate se sembraron un total de 39,893 plantas para la protección del cultivo de caña de azúcar ubicado en los alrededores del río; para establecer esta barrera se utilizaron 10 jornales diarios los cuales tuvieron un rendimiento de 750 plantas/ jornal diarias por lo que por día se sembraban 7,500 plantas y al final se utilizaron 54 jornales en total.

El rendimiento de los trabajadores en el establecimiento de la barrera de Vetiver fue menor debido a la textura arenosa del suelo la cual los dificultaba a avanzar rápidamente.

### 3.4.2.6. Constancias



**Figura 3.5: Siembra de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Robert) en la Finca Santa Elisa**



**Figura 3.6: Plantación de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Robert) una semana después de la siembra en finca Santa Elisa.**



**Figura 3.7: siembra de Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) en la borda del río Achiguate.**



**Figura 3.8: Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L) Roberty) a los 2 meses después de la siembra, Borda del Río Achiguate**