UNIVERSIDAD DEL MAR

CAMPUS PUERTO ESCONDIDO

ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL CON DOS ESPECIES LEGUMINOSAS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN LA MICRO-CUENCA DE SAN PEDRO MIXTEPEC, JUQUILA, OAXACA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA FORESTAL

PRESENTA

DAVID SARMIENTO BUSTOS

DIRECTOR DE TESIS

DR. EDGAR IVÁN SÁNCHEZ BERNAL

PUERTO ESCONDIDO, OAXACA, MÉXICO; SEPTIEMBRE DEL 2008

Puerto Escondido, Oaxaca, septiembre del 2008

UNIVERSIDAD DEL MAR

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Después de realizar una revisión detallada de la tesis "Establecimiento de un Sistema Agroforestal con dos especies leguminosas para la recuperación de Suelos degradados en la Micro-cuenca de San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca.", presentada por el pasante de la Licenciatura en Ingeniería Forestal **David Sarmiento Bustos**, se considera que cumple con los requisitos y la calidad necesarios para ser defendida en el examen profesional.

COMISIÓN REVISADORA

Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal
Universidad del Mar
Director

Dr. Eustacio Ramírez Fuentes
Universidad del Mar
Revisor

M. en C. Verónica Ortega Baranda
Universidad del Mar
Revisor

M. en C. Francisco Domínguez H.
Universidad del Mar
Revisor

Ing. Gelia Sandoval Orozco
Universidad del Mar
Revisor

Universidad del Mar

Campus Puerto Escondido

Clave: [illegible]

Acta de Examen Profesional

Departamento de Servicios Escolares

En el salón de actos de la Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, ubicada en Ciudad Universitaria, Puerto Escondido, Mixtepec, Juquila, Oaxaca; siendo las 19:00 horas del día 21 del mes de Octubre, del año 2008, se reunió el Jurado integrado por los CC.

Presidente: Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal

Secretario: M. en C. Verónica Ortega Baranda

Vocal: M. en C. Francisco Domínguez Hernández

Para aplicar el Examen Profesional de (el) (la) sustentante:

C. DAVID SARMIENTO BUSTOS

con número de matrícula: [illegible] quien se examina con base en la tesis denominada:

"ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL CON DOS ESPECIES LEGUMINOSAS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN LA MICRO-CUENCA DE SAN PEDRO MIXTEPEC, JUQUILA, OAXACA",

para obtener el Título de: Ingeniero Forestal

Se procedió a efectuar el acto de acuerdo al reglamento de titulación vigente. Una vez concluido el examen, el Jurado deliberó sobre los conocimientos y aptitudes demostrados y determinó:

Aprobado por unanimidad.

Lo anterior se hizo del conocimiento del interesado y acto seguido se le tomó la protesta universitaria, con lo cual se dio por terminado el acto, levantándose la presente acta firmando los que intervinieron.

Presidente

Secretario

Vocal

Sustentante

"Sunt nostrae [illegible]"

El suscrito Vice-Rector Académico certifica que las firmas son auténticas y corresponden a los profesores del jurado, cuyos nombres aparecen en esta acta.

Vo. Bo.

M. en C. Gerardo Esteban Leyte Morales
Vice-Rector Académico

Lic. Sandra Gabriela Arriaga Martínez
Jefa del Departamento de Servicios Escolares

Folio
0256

A G R A D E C I M I E N T O S

A Dios, a mi familia, maestros, director de tesis, comisión revisadora, amigos, compañeros y a todos los que directa e indirectamente colaboraron para culminar la primera etapa de mi carrera profesional y para la realización de este trabajo…

Gracias por su apoyo.

INDICE GENERAL

Página

ÍNDICE DE TABLAS iv

ÍNDICE DE FIGURAS v

RESUMEN vi

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVOS 3

3. HIPÓTESIS 3

4. REVISIÓN DE LITERATURA 4

4.1. Características pedogenéticas y físico-químicas del suelo. 4

4.1.1. Definición. 4

4.1.2. Propiedades físicas del suelo. 5

4.1.2.1. Textura. 6

4.1.2.2. Estructura. 7

4.1.2.2.1. Las estructuras simples o no desarrolladas. 7

4.1.2.2.2. Estructuras compuestas. 8

4.1.2.3. Consistencia. 8

4.1.2.4. Densidad. 8

4.1.2.5. Aireación. 8

4.1.2.6. Temperatura. 9

4.1.2.7. Color. 9

4.1.3. El agua en el suelo 9

4.1.3.1. Constantes de humedad del suelo y tipos de agua en relación al tamaño de los poros. 10

4.1.3.2. Movimiento del agua en el suelo. 11

4.1.3.3. Movimiento del aire en el suelo. 12

4.1.4. Reacción química del suelo. 13

4.1.5. Fertilidad del suelo. 14

4.1.6. El suelo como un continuum dinámico en un ecosistema forestal. 16

4.2. Los sistemas agroforestales. 17

4.2.1. Definición. 17

4.2.2. Clasificación de los sistemas agroforestales. 18
4.2.2.1. Componentes de producción. 18
4.2.2.2. Arreglo en el Espacio. 19
4.2.2.3. Régimen de Manejo. 19
4.2.2.4. Función o papel. 19
4.2.3. Sistema agrisilvícola. 21
4.2.4. Características de *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleífera.* 23
4.2.4.1. *Leucaena leucocephala.* 23
4.2.4.1.1. Fenología. 23
4.2.4.1.2. Propiedades fisiológicas. 23
4.2.4.1.3. Usos múltiples de la *Leucaena.* 24
4.2.5. *Moringa oleífera.* 25
4.2.5.1. Fenología. 25
4.2.5.2. Propiedades fisiológicas. 26
4.2.5.3. Usos múltiples de la *Moringa.* 26
4.3. La degradación del suelo, técnicas, obras de conservación y recuperación. 28
4.3.1. Prácticas vegetativas y mecánicas para el control de la erosión. 31
4.3.2. Terrazas individuales. 33
4.3.2.1. Objetivos de las terrazas. 33
4.3.2.3. Adaptabilidad de las terrazas. 33
4.3.2.4. Clasificación de las terrazas. 34
4.3.2.5. Criterios de diseños de terrazas. 35
5. MATERIALES Y MÉTODOS 38
5.1. Estudio diagnóstico del terreno. 38
5.1.1. Localización y características medioambientales del área de estudio. 38
5.1.1.1. Clima. 39
5.1.1.2. Vegetación. 39
5.1.1.3. Geología. 40
5.1.1.4. Hidrología. 40
5.1.1.5. Suelos. 40

5.1.1.6. Principales actividades productivas. 41
5.1.2. Selección del sitio. 41
5.1.2.1. Determinación de la pendiente. 42
5.1.2.2. Determinación de algunas propiedades físico-químicas del suelo. 42
5.1.2.3. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. 43
5.2. Establecimiento de la parcela experimental. 44
5.2.1. Levantamiento topográfico del terreno. 45
5.2.2. Cálculo de la erosión. 45
5.2.3. Cálculo del escurrimiento superficial. 49
5.3. Construcción de terrazas. 53
5.4. Metodología para establecer el sistema agroforestal y diseño experimental. 54
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 57
6.1. Características físico-químicas del suelo materia de estudio. 57
6.1.1. Textura. 58
6.1.2. Estructura. 58
6.1.3. Color del perfil del suelo. 58
6.1.4. Arcillas. 59
6.1.5. pH. 59
6.1.6. Conductividad eléctrica. 60
6.1.7. Contenido de materia orgánica. 60
6.1.8. Capacidad de intercambio catiónico. 61
6.1.9. Cationes y aniones solubles. 61
6.1.10. Vegetación que sostienen estos suelos. 64
6.1.11. Uso actual del suelo. 65
6.2. Determinación del escurrimiento superficial. 65
6.2.1. Determinación de la erosión hídrica. 70
6.2.2. De las terrazas. 72
6.3. Evaluación del diseño experimental. 78
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 84
7.1. Conclusiones. 84
7.2. Recomendaciones. 86
8. BIBLIOGRAFÍA 87

INDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.	Clasificación de partículas minerales.	6
Tabla 2.	Tamaño de poro en el suelo.	10
Tabla 3.	Principales prácticas agroforestales y sus características.	20
Tabla 4.	Prácticas vegetativas y mecánicas más importantes para el control de la erosión.	32
Tabla 5.	Espaciamiento entre terrazas al considerar la pendiente (S) y la precipitación.	37
Tabla 6.	Clasificación de Suelos, según USDA.	46
Tabla 7.	Rango de valores para Erodabilidad del suelo (K).	47
Tabla 8.	Valores referenciales del índice de factor de uso y manejo del suelo C.	48
Tabla 9.	Índice de práctica conservacionista.	48
Tabla 10.	Grupos de suelos de acuerdo a sus características de escurrimiento.	50
Tabla 11.	Vegetación y Condición Hidrológica.	51
Tabla 12.	Curvas numéricas: uso, tratamiento y condición hidrológica del suelo.	52
Tabla 13.	Tratamientos en el sistema agroforestal.	55
Tabla 14.	Determinación textural de espesores del perfil de suelo materia de estudio.	58
Tabla 15a.	Determinación del color del perfil del suelo en seco materia de estudio.	59
Tabla 15b.	Determinación del color del perfil del suelo húmedo materia de estudio.	59
Tabla 16.	Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).	61
Tabla 17.	Concentración electrolítica y salinidad del suelo en el experimento.	63
Tabla 18.	Concentración electrolítica y salinidad del sedimento.	63
Tabla 19.	Cantidad de suelo removido por la lluvia en cada tratamiento.	74
Tabla 20.	Datos observados de cada variable para las plantas según su tratamiento.	83

INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Componentes del sistema suelo en sus tres fases.	4
Figura 2.	Triangulo de textura del suelo.	6
Figura 3.	Mediciones usadas en el espaciamiento entre terrazas.	36
Figura 4.	Ubicación de la parcela experimental en San Pedro Mixtepec.	38
Figura 5.	Trazo que indica la forma en que se determinó la pendiente del terreno.	42
Figura 6a.	Determinación de la pendiente del terreno.	45
Figura 6b.	Establecimiento del lote de escurrimiento.	45
Figura 7a.	Trazo de curvas a nivel para la construcción de terrazas.	53
Figura 7b.	Construcción de terrazas.	53
Figura 8a.	Plantación de las especies leguminosas.	55
Figura 8b.	El sistema agroforestal 48 días después de la plantación.	55
Figura 9.	Análisis granulométrico por el método de Bouyoucos.	57
Figura 10.	Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. a) Después del centrifugado. b) Titulación con EDTA.	61
Figura 11.	Determinación de Calcio y Magnesio por el método Colorimétrico. a) En el momento del vire. b) El cambio de color.	62
Figura 12.	Erosión hídrica en los diferentes tratamientos.	75
Figura 13.	Terrazas construidas a base de costales llenos de tierra y estacas.	76
Figura 14.	Comportamiento de cada tratamiento con respecto a la variable altura.	78
Figura 15.	Comportamiento de cada tratamiento con respecto a diámetro de copa.	80
Figura 16.	Comportamiento de cada tratamiento con respecto a diámetro al cuello.	82

RESUMEN

Para determinar el grado de recuperación de los suelos erosionados por deforestación en la microcuenca de San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, se estableció un sistema agroforestal en terrazas individuales con dos especies de leguminosas: Resedá (*Moringa oleífera sp*) y guaje (*Leucaena leucocephala*); las cuales fueron evaluadas en base a su crecimiento durante seis meses para identificar cual de las dos especies o su plantación alterna proporciona un ambiente propicio para iniciar el proceso de recuperación. Aunado a esto, se realizó un análisis físico-químico del suelo en la parcela demostrativa, con la finalidad de conocer las características del mismo para el desarrollo de las plantas y cuantificar la migración iónica producida por el escurrimiento superficial mediante el establecimiento de un lote de escurrimiento.

Los resultados obtenidos en el experimento demuestran que el establecimiento de terrazas individuales en terrenos de ladera es de vital importancia para la recuperación del suelo ya que logran disminuir el arrastre de sedimentos ocasionados por la lluvia hasta en un 76 %. Con respecto al sistema agroforestal el análisis de varianza arrojó resultados a favor de *Moringa oleífera*, ya que durante el periodo que fueron evaluadas fue la que mayor crecimiento registró tanto en altura, diámetro de copa y diámetro al cuello de la raíz, con valores promedio de 1.40 m, 58.65 cm y 18.35 cm respectivamente; contra un 1.35 m, 54.87 cm y 11.23 cm para el caso de *Leucaena leucocephala*, y valores de 1.27 m en altura, 56.72 cm en diámetro de copa y 13.92 cm en diámetro al cuello para el caso de la plantación alterna con ambas especies.

Con respecto al análisis físico-químico del suelo, los resultados arrojados indican que la concentración electrolítica y la salinidad en la parcela demostrativa disminuye después de cada periodo de lluvias.

1. Palabras clave: Suelo, recuperación, sistema agroforestal, crecimiento, análisis físico-químico, erosión, terrazas, leguminosas.