



**UNIVERSIDAD DEL MAR**

---

---

**CAMPUS PUERTO ESCONDIDO**

**CONTROL EROSIVO EDÁFICO DEL MESORELIEVE DE SAN PEDRO  
MIXTEPEC JUQUILA, OAXACA, MEDIANTE TERRAZAS CON  
MUROS DE CONTENCIÓN DE LLANTAS RESIDUALES**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA FORESTAL

**PRESENTA**

OSMAN OBED REYES ROJAS

**DIRECTOR**

DR. EDGAR IVÁN SÁNCHEZ BERNAL

PUERTO ESCONDIDO OAXACA, 2020

## DEDICATORIA

A mi familia a mis padres principalmente a la señora **Florida Rojas Aragón** por ese inconmensurable amor hacia su hijo, que siempre me apoya, aconseja y motiva en los momentos indicados.

A mi abuelo el señor **Rutilo Rojas**, en mi persona es un ejemplo a seguir, con su sabiduría me orienta y me aconseja en este proceso llamado vida.

¡Agradezco infinitamente que estén conmigo!

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Doctor Edgar Iván Sánchez Bernal gracias por sus sugerencias, observaciones y experiencia científica otorgada para la realización de este trabajo de investigación.

A mis compañeros de grupo por las experiencias y anécdotas compartidas a lo largo de estos años y, por el arduo trabajo de campo que me ayudaron a realizar para la presente investigación.

A la familia Guzmán Scherenberg gracias por el apoyo incondicional y por el trabajo que me otorgaron, para poder solventar los gastos económicos generados durante mi estancia en la Universidad del Mar.

A los revisores por sus aportaciones que realizaron, para mejor la calidad de este trabajo de investigación.

Finalmente, gracias a los maestros y el personal que labora en esta casa de estudios, que formaron parte de este proceso integral en mi formación académica.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	vii
<b>RESUMEN</b>	viii
<b>ABSTRACT</b>	ix
<b>I.    INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II.   HIPÓTESIS</b>	3
<b>III.  OBJETIVOS</b>	3
3.1 Objetivo general	3
3.2 Objetivos particulares	3
<b>IV.   REVISIÓN DE LITERATURA</b>	4
4.1 Características físico-químicas del suelo	4
4.1.1 Definición	4
4.1.2 Propiedades físicas del suelo	5
4.1.2.2 Estructura	7
4.1.2.3 Conductividad hidráulica	7
4.1.2.4 Consistencia	8
4.1.2.5 Densidad	8
4.1.2.6 Aireación	9
4.1.2.7 Temperatura	10
4.1.2.8 Color	11
4.1.2.9 Porosidad	11
4.1.3 Reacción química del suelo	12
4.1.3.1 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	14
4.1.3.2 Potencial osmótico	14
4.1.4 Agua en el suelo	16

4.1.4.1	Movimiento del agua en el suelo	17
4.1.5	Fertilidad del suelo	18
4.2	Hidroerosión	20
4.2.1	Causas de la hidroerosión	20
4.2.2	Métodos para estimar y predecir la hidroerosión.	22
4.3	Características de <i>Moringa oleifera</i> Lam. (Moringaceae) y <i>Clitoria ternatea</i> L. (Fabaceae)	23
4.3.1	<i>Moringa oleifera</i> Lam. (Moringaceae)	23
4.3.1.1	Fenología	24
4.3.1.2	Usos múltiples de <i>Moringa oleifera</i> .	24
4.3.2	<i>Clitoria ternatea</i> L. (Fabaceae)	25
4.3.2.1	Morfología	25
4.3.2.2	Adaptabilidad	26
4.3.2.3	Usos de <i>Clitoria ternatea</i>	26
<b>V.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>27</b>
5.1	Área de estudio	27
5.1.1	Clima	28
5.1.2	Vegetación	28
5.1.3	Geología	28
5.1.4	Hidrología	29
5.1.5	Suelos	29
5.2	Muestreo y análisis de suelos	30
5.2.1	Muestreo	30
5.2.2	Análisis físicos y químicos del suelo	30
5.3	Establecimiento de los dos lotes de escorrentía	31
5.4	Construcción de terrazas	32
5.5	Cálculo de la erosión potencial y actual mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	33
5.5.1	Determinación del índice de erosión pluvial	34
5.5.2	Determinación de la erosión potencial (EP)	35
5.6	Estimación de la escorrentía superficial	39

5.7	Metodología para establecer el sistema agroforestal y diseño experimental	41
5.8	Composición y estructura de las especies arbóreas	42
5.8.1	Índice de Valor de Importancia (IVI)	43
<b>VI.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>45</b>
6.1	Características físicas y químicas de los suelos del área de estudio	45
6.1.1	Conductividad hidráulica	45
6.1.2	Textura, densidad aparente y porosidad del suelo	46
6.1.3	Color	47
6.1.4	pH, CE Y STD	47
6.1.5	Composición iónica de extractos acuosos de pastas de saturación del suelo	48
6.2	Cálculo de la erosión potencial y actual mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	49
6.2.1	Determinación del índice de erosión pluvial	49
6.2.2	Determinación de la erosión potencial	50
6.2.3	Determinación de la erosión actual (EA)	51
6.3	Estimación de la erosión mediante los lotes de escorrentía	52
6.4	Evaluación de la escorrentía superficial	53
6.5	El sistema de terrazas	56
6.6	Costo económico del establecimiento del sistema agroforestal	57
6.7	Evaluación del sistema agroforestal	59
6.7.1	<i>Moringa oleifera</i> Lam. - <i>Clitoria ternatea</i> L.	59
6.7.2	<i>Clitoria ternatea</i> L. - <i>Moringa oleifera</i> Lam	63
6.8	Análisis de la composición y estructura de las especies arbóreas	67
6.8.1	Estratificación vertical	67
6.8.2	Estratificación horizontal	68
6.8.3	Índices estructurales	69
6.8.3.1	Índice de Valor de Importancia (IVI)	69
<b>VII.</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>71</b>
7.1	Características físicas y químicas de los suelos del área de estudio	71
7.1.1	Composición iónica de extractos acuosos de suelo	71

7.2	Estimación de la erosión mediante el lote de escorrentía y su comprobación mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	72
7.3	El sistema de terrazas	73
7.4	Sistema agroforestal	74
7.4.1	Evaluación de las especies establecidas	74
7.4.1.1	<i>Moringa oleifera</i>	74
7.4.1.1	<i>Clitoria ternatea</i>	74
7.5	Composición y estructura de las especies arbóreas	75
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>77</b>
<b>IX.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>78</b>
<b>X.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro I. Metodología para determinar análisis químicos de las muestras de suelo colectadas en el área de muestreo	31
Cuadro II. Valores del índice de factor de uso y manejo de suelo (C)	38
Cuadro III. Índice de prácticas conservacionistas	39
Cuadro IV. Arreglo espacial en la parcela experimental	42
Cuadro V. Características físico-químicas de perfiles de suelos analizados antes de la época de lluvias	48
Cuadro VI. Composición química de extractos acuosos de pasta de saturación de suelos analizados, previo al proceso erosivo	49
Cuadro VII. Características físico-químicas de perfiles de suelos analizados después del proceso erosivo	55
Cuadro VIII. Composición química de extractos acuosos de pasta de saturación de suelos analizados después del fenómeno de lluvias	56
Cuadro IX. Cantidad de suelo removido por la erosión hídrica en cada tratamiento	57
Cuadro X. Relación de costos de la construcción de una terraza	58
Cuadro XI. Relación de costos económico de germinación, propagación de las especies y establecimiento del sistema agroforestal	58
Cuadro XII. Relación del costo económico de construcción de la terraza y el establecimiento del sistema agroforestal	59
Cuadro XIII. Resultados de IVI en las tres UM	70



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases del suelo	5
Figura 2. Triángulo de textura del suelo	6
Figura 3. Ubicación del área de estudio	27
Figura 4. Conductividad hidráulica adyacente al lote de esorrentía No. 1	45
Figura 5. Conductividad hidráulica contiguo al lote de esorrentía No. 2	46
Figura 6. Análisis granulométrico por el método de Bouyoucos	47
Figura 7. Cantidad de suelo removido en los dos lotes de esorrentía	53
Figura 8. Comportamiento de la variable de altura	60
Figura 9. Comportamiento de la variable diámetro del tallo	61
Figura 10. Comportamiento de la variable cobertura de copa	62
Figura 11. Comportamiento de la variable número de rebrotes	63
Figura 12. Comportamiento de la variable longitud de planta	64
Figura 13. Comportamiento de la variable diámetro del tallo	65
Figura 14. Comportamiento de la variable número de nudos	66
Figura 15. Comportamiento de la variable número de hojas	67
Figura 16. Histograma de intervalos de altura de las 3 UM	68
Figura 17. Histograma de categorías diamétricas de las 3 UM	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Área de estudio	91
Anexo 2. Colecta de muestras de suelo	91
Anexo 3. Establecimiento del lote de escorrentía sin cobertura vegetal	91
Anexo 4. Lote de escorrentía bajo cubierta vegetal	91
Anexo 5. Inicio de construcción de las terrazas	92
Anexo 6. Finalización de la construcción de las siete terrazas	92
Anexo 7. Establecimiento de las especies	92
Anexo 8. Sistema agroforestal a los 90 días del establecimiento	92
Anexo 9. Obtención de extractos acuosos de las muestras de suelo	93
Anexo 10. Determinación de Residuo Seco Calcinado a 600 °C en mufla	93
Anexo 11. Análisis volumétrico en el laboratorio	93
Anexo 12. Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos	94
Anexo 13. Determinación de Calcio y Magnesio	94
Anexo 14. Pozo de infiltración	94

## RESUMEN

Los suelos del mesorelieve de la microcuenca de San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, han sido perturbados por el cambio de uso de suelo para establecer agro ecosistemas, sustentados en actividades de sobrepastoreo y el mal uso de prácticas como la roza-tumba-quema (técnicas ancestrales de cultivo). Lo anterior se suma a una geomorfología accidentada del lugar que presenta pendientes pronunciadas y suelos poco profundos. En consecuencia, se trata de una zona vulnerable a la hidroerosión con lixiviación y pérdida de iones nutrimentales que empobrecen los suelos. Para cuantificar la hidroerosión anual de estos suelos, se establecieron dos lotes de escorrentía uno de ellos bajo cobertura vegetal y el otro sin cobertura vegetal. La erosión que presentó el lote con una superficie de  $12.5 m^2$  sin cobertura vegetal fue de 208.26 kg, es decir  $166.61 Mg ha^{-1} / año$ , mientras que en el lote con cobertura vegetal principalmente con presencia de especies de las familias Fabaceae y Malvaceae fue del orden de  $105.90 Mg ha^{-1} / año$ , por lo tanto, la erosión en la superficie forestada se redujo en un 36.43 %.

Los resultados fueron comparados con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE/RUSLE que arrojó un resultado de  $68.80 Mg ha^{-1} / año$ , esta diferencia se debe a que la ecuación no considera con precisión el número de eventos lluviosos que ocurrieron para ese año lo cual altera el valor antes indicado, dicho valor excede el umbral de tolerancia, es decir se trata de suelos intolerantes a la erosión.

Se implementó un sistema agroforestal en terrazas construidas en su talud con llantas automotriz de uso residual, con dos especies *Moringa oleifera* Lam. y *Clitoria ternatea* L. cuya asociación fue idónea sin presentar diferencia significativa ( $p = 0.05$ ) en los parámetros evaluados, además se disminuyó la erosión en un 99.3 %. Este sistema demuestra ser una opción viable de sustentabilidad ecológica y económica para el control de erosión del suelo.

**Palabras claves:** Suelos, hidroerosión, lote de escorrentía, cobertura vegetal, sistema agroforestal, terrazas, sustentabilidad.

## ABSTRACT

The soils of the mesorelief in the microbasin of San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca have been disturbed due to changes in ground use to establish agroecosystems, including over-grazing and the poor implementation of practices such as “clear-bury-burn” (an ancestral cultivation technique). This has led to a rugged geomorphology with pronounced slopes and shallow soils. As a consequence, it has become a zone vulnerable to hydro-erosion with lixiviation and the loss of nutritive ions, which impoverishes the soil. To assess the annual hydro-erosion of these soils, two plots of land with run-off were established – one with low vegetation coverage and the other with no vegetational coverage. The plot with no vegetation and a surface size of  $12.5 \text{ m}^2$  presented 208.26 kg of erosion, which is  $166.61 \text{ Mg ha}^{-1} / \text{year}$ , while the plot with low vegetation coverage (principally with the presence of species of the families Fabaceae y Malvaceae) demonstrated a rate of  $105.90 \text{ Mg ha}^{-1} / \text{año}$ ; therefore, the forested surface reduced erosion by 36.43 percent.

These data were compared with the Universal Soil Loss Equation (USLE), which produced a result of  $68.80 \text{ Mg ha}^{-1} / \text{año}$ . The difference is due to the equation not taking into consideration the precise number of rainy events that occurred this year, which altered the value specified before. This value exceeded the tolerance threshold, which indicates soils intolerant to erosion.

An agroforestry system was implemented through terraces constructed on a slope with used automotive tires. The system was comprised of two plant species, *Moringa oleifera* Lam. y *Clitoria ternatea* L., whose inclusion was suitable and did not cause a significant difference ( $p = 0.05$ ) in the evaluated parameters; furthermore, erosion was reduced by 99.3 percent. This system demonstrates itself as a viable option for ecological and economic sustainability in the control of soil erosion.

**Key words:** soils, hydro-erosion, plots with run-off, vegetation coverage, agroforestry system, terraces, sustainability.