BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

"La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra"

Medidas de conservación y recuperación de suelos de una microcuenca del ecocampus BUAP

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

EDGAR GONZALO DEL ÁNGEL CALLES

Comité tutoral:

Director	Dr. Jesús Armando Ruíz Careaga
Co-Director	Dr. Moises Carcaño Montiel
Tutora	Dra. María Teresa Zayas Pérez
Integrante Comité Tutorial	Dr. Manuel Huerta Lara
Integrante Comité Tutorial	Dr. Daniel Jímenez García

Enero 2022

INDICE

1. Introducción 3
2. Antecedentes 7
   2.1. Zonas áridas 8
   2.2. Degradación de suelos 11
   2.3. Condicione socio-ambientales 13
   2.4. El empleo de barreras vivas de *Vetiveria zizanioides* 20
   2.5. Otras propiedades y usos de la *Vetiveria zizanioides* 22
   2.6. Construcción de muros de piedras acomodadas 23
3. Localización 25
4. Preguntas de investigación 27
5. Hipótesis 27
6. Objetivo general 27
7. Objetivos específicos 28
8. Justificación 28
9. Marco teórico 29
   9.1. Principales causas de la degradación de suelos a nivel nacional 33
10. Leyes y normas mexicanas 34
11. Metodología 37
   11.1. Zona con potencial agrícola 37
   11.2. Zona con erosión moderada 38
   11.3. Zonas con erosión severa y muy severa 39
12. Resultados y discusión 40
   12.1. Instalación de la infraestructura 40
13. Eficiencia del sistema de medidas implementado 42
   13.1. Control de la erosión en áreas agrícolas 42
   13.2. Disminución de sólidos hacia cuerpos de agua 43
      13.2.1 Retención de suelo en muros de piedras acomodadas 43
      13.2.2. Análisis estadístico del suelo retenido en los muros de piedras acomodadas 46
      13.2.3. Retención de suelo en zanjas trincheras 49
      13.2.4. Análisis estadístico del suelo retenido en las zanjas trincheras 51
      13.2.5. Retención de suelo en represas de mampostería 54
      13.2.6. Análisis estadístico 59
      13.2.7. Muros de piedra cementados para retener suelo 62
14. Conclusiones 66
15. Recomendaciones 67
16. Referencias bibliográficas 68

Índice de Figuras

Figura 1.	INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional). México. 2007.	3
Figura 2.	UACH. Actualización de la delimitación de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional. Reporte final de proyecto de investigación. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011.	5
Figura 3.	ESRI, 1993; CRU/UEA; UNEP/GRIP 1991. Escala 1:100 millón. Proyección Robinson.	9
Figura 4.	Grado de vulnerabilidad a la desertificación 1995 (INEGI, 1995).	12
Figura 5.	Paisaje del Valle de Zapotitlán (Salas, 2019).	14
Figura 6.	Ciclos de realimentación de la desertificación (Thomas y Middleton 1994).	15
Figura 7.	Mapa de localización del municipio de Puebla. Fuente propia.	25
Figura 8.	Ecocampus BUAP en Valsequillo. Delimitación de la microcuenca I	26
Figura 9.	SEMARNAT, Colegio de Postgraduados (2002).	33
Figura 10.	Barreras vivas de *Vetiveria zizanioides,* Sembradas en un área con potencial agrícola en 2017.	41
Figura 11.	Retención de suelo en uno de los muros de piedras acomodadas construido en la primavera 2018.	44
Figura 12.	Muro de piedras acomodadas III construido en el 2018.	45
Figura 13.	Muro de piedras acomodadas V. Construido en 2018.	45
Figura 14.	Graficas de peso y frecuencia en cada muro.	47
Figura 15.	Grafica de cajas y bigotes para la comparación de las medias de cada muro de piedras acomodadas.	48
Figura 16.	Zanja trinchera I construida en la primavera de 2018.	50
Figura 17.	Zanja trinchera II, construida en la primavera del 2018.	51
Figura 18.	Grafica de peso en kg. Y frecuencia de cada Zanja trinchera.	52
Figura 19.	Comparación de medias de la zanja I y II donde no se observan diferencias significativas entre ellas.	53
Figura 20.	Cantidad de suelo retenido por cada represa durante la temporada de lluvias del 2019.	55
Figura 21.	Represa No. 1 construida en el Sector de Referencia del Ecocampus BUAP en Valsequillo.	56
Figura 22.	Represa No. 2 construida en el Sector de Referencia	57

del Ecocampus BUAP en Valsequillo.
Figura 23. Represa No. 3 construida en el Sector de Referencia del Ecocampus BUAP en Valsequillo. 58
Figura 24. Represa No. 4 construida en el Sector de Referencia del Ecocampus BUAP en Valsequillo. 59
Figura 25. Grafica de peso en kg y frecuencia de cada represa de mampostería. 60
Figura 26. Comparación de medias de cada represa de mampostería, donde se aprecia la diferencia entre las medias de cada una. 61
Figura 27. Muro de piedra cementado construido en otoño 2017. 63
Figura 28. Acarreo de suelo para recuperar áreas degradadas. 64
Figura 29. Porcentaje de suelo retenido total de cada medida implementada dentro de la microcuenca I. 66

Índice de Cuadros

Cuadro1.	Comparación de cambios en la vegetación en el periodo 1980-1996 en el Valle de Zapotitlán. (SEMARNAT 2004)	14
Cuadro 2.	Cálculo de distancia entre barreras vivas según el porcentaje de inclinación de la pendiente. Fuente: PASOLAC, 1999	21
Cuadro 3.	Distancia entre muros de piedras acomodadas según el porcentaje de la pendiente (PASOLAC 1999)	24
Cuadro 4.	Suelo retenido por los muros de piedras acomodadas.	44
Cuadro 5.	Media con desviación estandar, valores maximos y minimos de cada muro de piedras acomodadas.	46
Cuadro 6.	Analis de varianza de los muros de piedras acomodadas.	47
Cuadro 7.	Media con desviación estandar, valores maximos y minimos de las Zanjas trincheras.	52
Cuadro 8.	Resultados obtenidos en la prueba T para las zanjas trincheras.	53
Cuadro 9.	Media con desviación estandar, valores maximos y minimos de las represas de mampostería.	60
Cuadro 10.	Análisis de varianza de las represas de mampostería.	61
Cuadro 11.	Comparación de medias de cada represa de mampostería.	62
Cuadro 12.	Captación del suelo por las medidas de conservación implementadas en la microcuenca I.	65

Resumen

La degradación y desertificación de suelos es un problema a nivel mundial que ha incrementado en las últimas décadas, el presente trabajo realizado en una microcuenca del Ecocampus BUAP en el municipio de Puebla demuestra con resultados positivos que la implementación de medidas de conservación de suelos combate con eficiencia las pérdidas de suelo anuales provocadas por la erosión hídrica. Con 3000 m de barreras vivas de *Vetiveria zizanioides,* 90 m de muros de piedras acomodadas para el control de cárcavas y el apoyo de zanjas trincheras, represas de mampostería y muros cementados se ha podido recuperar en tan solo 1 año 3.08 toneladas de suelo arrastrado por la erosión hídrica. Evitando así la perdida y degradación del suelo de esta área, además de detener el aporte de solidos a la presa Valsequillo ubicada en la parte baja del terreno. La implementación de esta metodología ayuda a mejorar las condiciones del suelo después de haber sufrido los efectos de la agricultura y ganadería de forma intensiva, protegiendo las zonas con potencial agrícola y restaurando zonas con erosión moderada y muy severa.

1. INTRODUCCION

México es un país rico en diversidad de suelos, posee 26 de los 32 grupos de suelos reconocidos por el Sistema Internacional del Recurso suelo, donde los Leptosoles dominan el 28.3%, Regosoles 13.7%, Phaeozems 11.7%, Calcisoles 10.4%, Luvisoles 9% y Vertisoles 8.6%, siendo la suma de estos suelos el 81.7% de la superficie nacional (Figura 1; INEGI, 2007). Por esta razón es prioritario desarrollar un manejo innovador para conservar el recurso suelo. La degradación y desertificación de tierras en México es un problema serio que se debe reducir y revertir con el fin de que las generaciones sigan contando con los servicios ambientales de suelos sanos y productivos (Becerra, 1998).

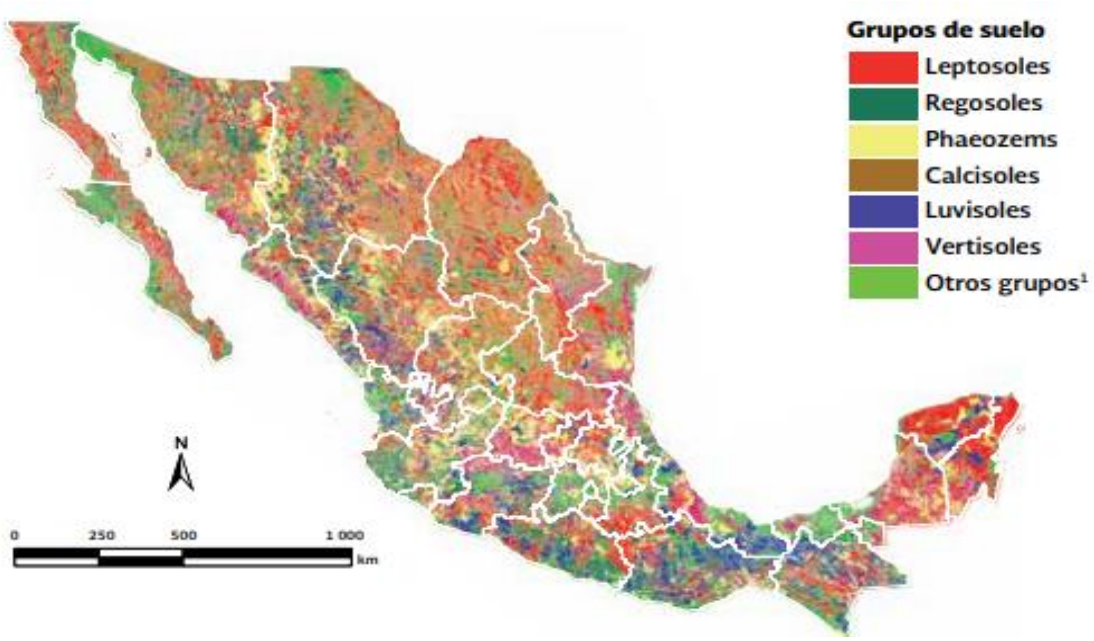

Figura 1. INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional). México. 2007.

El 15.7% de la superficie del territorio mexicano pertenece a zonas áridas, por otro lado, las zonas semiáridas ocupan el 58% del territorio, es decir, más de la mitad del territorio nacional tiene condiciones de sequía y aridez. Además

de contar con estas características, estas grandes extensiones de suelo también presentan factores abióticos que en ocasiones dificultan cualquier tipo de actividad productiva, incluyendo el establecimiento de asentamientos urbanos (Gonzáles, 2012).

Uno de los principales aspectos que dominan el entorno de las zonas áridas y semiáridas es la escaza o nula presencia de humedad. En estos sectores las bajas precipitaciones están en función de las estaciones del año, en otoño es cuando comienzan las lluvias estacionales que mantienen con vida la vegetación el resto del año. Esto también depende de la capacidad del suelo para retener y almacenar el preciado líquido durante la temporada de sequía. Durante la temporada de ausencia de lluvias, las zonas semiáridas se convierten en paisajes semidesérticos, la vegetación se pierde en su mayoría, sin embargo, las plantas se mantienen con vida bajo tierra, conservando la biomasa en sus raíces hasta la próxima temporada de lluvias, donde el follaje reaparece, mostrando nuevamente un paisaje verde. Es por esta razón que la salud del suelo es tan importante, sino es capaz de proteger las raíces y organismos que se albergan en el durante la sequía, no habrá rebrotes de vegetación después, ocasionando la pérdida de un ecosistema que alberga variedad de seres vivos y que además brinda servicios ambientales. Por eso es indispensable que el suelo se encuentre en condiciones óptimas para mantener el ecosistema (Astaburuaga, 2004).

Zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México.

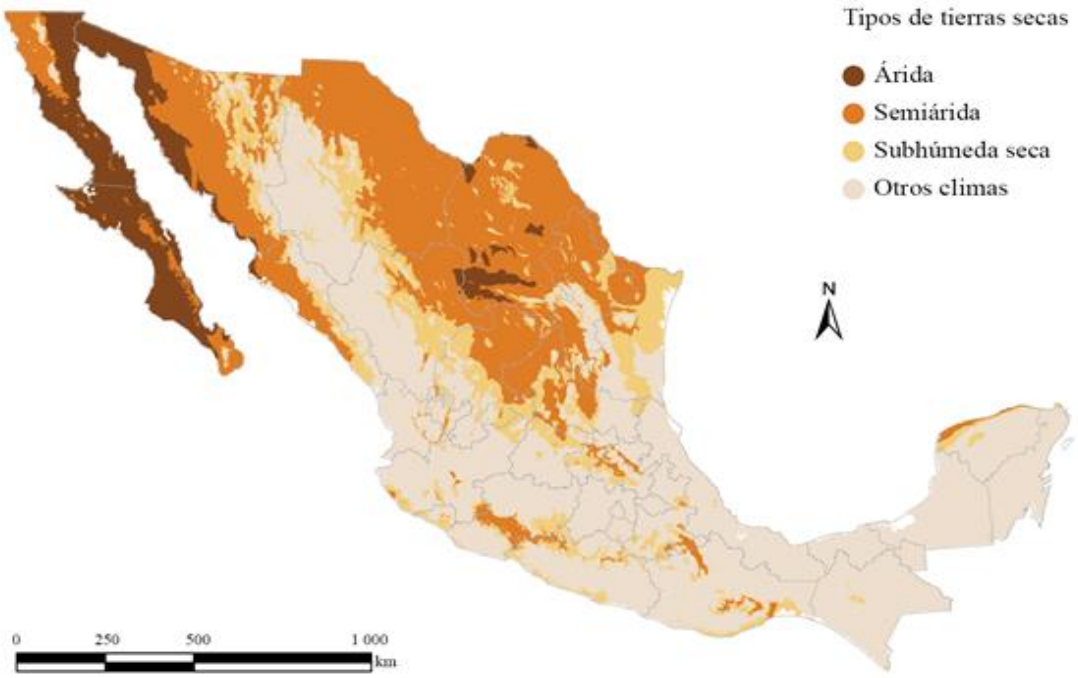

Figura 2. UACH. Actualización de la delimitación de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional. Reporte final de proyecto de investigación. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011 Nota: Clasificación basada en el criterio de índice de aridez.

Más del 90% de los alimentos dependen de las actividades agrícolas donde la fertilidad del suelo es pobre. Los suelos saludables se tornan más escasos conforme continuamos sobreexplotando los sistemas agrícolas (FAO, 2002) y cambiando el uso de suelo de ecosistemas naturales a productivos (Lambin, 1997). Es cierto que esto sucede en todo el mundo, pero en México se pierden ecosistemas naturales saludables a una tasa alarmante (Fuentes *et al*., 2017). Es reconocido que uno de los principales factores que propician la degradación de los suelos es la ausencia de vegetación, siendo esto una consecuencia de las actividades del ser humano como la agricultura, la ganadería, la tala de árboles y el expansionismo urbano entre otras (Valladares, 2004).

Por el mal manejo a que han sido sometidos los suelos en el planeta, surgen los sistemas de conservación y restauración de suelos compuestas por técnicas, métodos y saberes que ayudan a devolver el equilibrio ecológico en los ecosistemas (Chapela y Álvarez, 2007).

La conservación y restauración de suelos atiende la problemática de la degradación del suelo provocada por la sobreexplotación, uso de sustancias químicas antropogénicas y mal manejo de este recurso natural. Las complicaciones y bajas tasas de producción agrícola en las últimas décadas son alarmantes y exigen un cambio de técnicas de cultivo (Monteagudo, 2014).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) implementó un proyecto para monitorear y evaluar la calidad de las tierras, con el objetivo de generar guías detalladas para aplicar técnicas de manejo y conservación en el campo forestal, en la agricultura y en el pastoreo extensivo (FAO, 1981).

Para desarrollar los conceptos y definiciones sobre tipos de tierra, así como su utilización, calidad y procesos de evaluación, participaron distintas instituciones y organizaciones como la FAO, el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (CDS). De esta manera se lograron generar indicadores para la agricultura sostenible y para el desarrollo rural (SEMARNAT, 2010).

La presente investigación demuestra cómo las medidas de conservación y restauración de suelos aplicadas en una microcuenca localizada en el Ecocampus de la BUAP en Valsequillo ayudan a mejorar gradualmente las condiciones del suelo en proceso de degradación; la ganadería y la agricultura han afectado la capacidad productiva del suelo e incrementando la vulnerabilidad del ecosistema ante factores climáticos. El

suelo presenta un estado de degradación que varía de moderadamente a severamente degradado. Esto se debe principalmente a la ausencia de cobertura vegetal que ha dejado expuesto el suelo a los efectos del clima. La acción erosiva de la escorrentía ha modelado el relieve cuesta abajo, arrastrando y transportando cantidades considerables de suelo que terminan depositándose en la presa Valsequillo. Las medidas de conservación y restauración de suelos que se implementen serán un modelo para restaurar paulatinamente este ecosistema, detener la degradación del suelo y devolver el equilibrio a la zona.

2. ANTECEDENTES

El suelo es un recurso invaluable que ha servido a la humanidad para poder desarrollarse plenamente. A lo largo de la historia del hombre, se ha hecho uso del suelo en beneficio propio. Con el pasar de las épocas se han evolucionado y mejorado las técnicas de cultivo (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2001). Durante la revolución verde entre 1960 y 1980 se hicieron grandes avances en la agricultura, se implementaron nuevas tecnologías y sustancias químicas con el objetivo de acelerar la producción de cultivos para satisfacer la creciente demanda de alimentos. Utilizando maquinaria para arar el suelo, fertilizantes para acelerar el crecimiento de los cultivos y pesticidas químicos para controlar las plagas, se logró incrementar las cosechas de monocultivos hasta 4 veces con semillas mejoradas (Ceccon, 2008). Estas estrategias lograron el objetivo de producir alimentos en masa, ya que aceleraron los procesos de la industria agrícola, sin embargo, bastó con un par de décadas para que las consecuencias de esta sobre explotación del suelo empezaran a manifestarse. Muchas áreas que albergaban vida silvestre fueron devastadas para extender las zonas de cultivo, destruyendo el habitad de muchas especies animales y vegetales.

Además, con el uso de sustancias químicas como fertilizantes y pesticidas se alteraron los procesos naturales que mantienen el equilibrio en los ecosistemas. En efecto, al principio de esta época tan importante se logró una gran producción, la consecuencia de esto fue la perdida de muchas zonas naturales que cumplían con funciones específicas para el medio ambiente, y como resultado los suelos antes fértiles quedaron en un estado de degradación creciente. Esta problemática con el paso del tiempo se ha complicado afectando al campo, la economía y la sociedad (Ceccon, 2008). Dichas repercusiones se pueden observar a diferentes escalas, tanto global como local, un caso muy claro de esta problemática sucede en el estado de Puebla, en este territorio las características fisiográficas y las actividades productivas realizadas intensamente han sido propicias para el trastorno de sus condiciones socio ambientales. En primera instancia, el territorio se compone por zonas áridas con suelos en estado de degradación y pérdida total de horizontes edáficos. Desde el punto de vista socio ambiental esta zona de estudio se caracteriza por presentar serios problemas de pobreza y marginación debidas al uso inadecuado de los recursos naturales, fundamentalmente el recurso suelo.

2.1. Zonas áridas

Las zonas áridas se caracterizan por presentar particularidades climáticas donde se acentúan las temperaturas extremas y déficit de humedad en suelos y ambiente (Salas, 2000), estas condiciones representan un serio problema para el desarrollo sustentable en estas partes del planeta (Mazuela, 2013), ocupan una extensión territorial de 1 110 millones de hectáreas, donde habitan actualmente 35.5 por ciento de la población a nivel mundial, que sobreviven en condiciones de pobreza y marginación (FAO, 2019), la situación ha sido tan extrema que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha convocado a realizar trabajos de investigación y

asesoría para remediar y mejorar las condiciones ambientales y nivel de vida de la población (Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, 2002).

Distribución de tierras áridas a nivel mundial

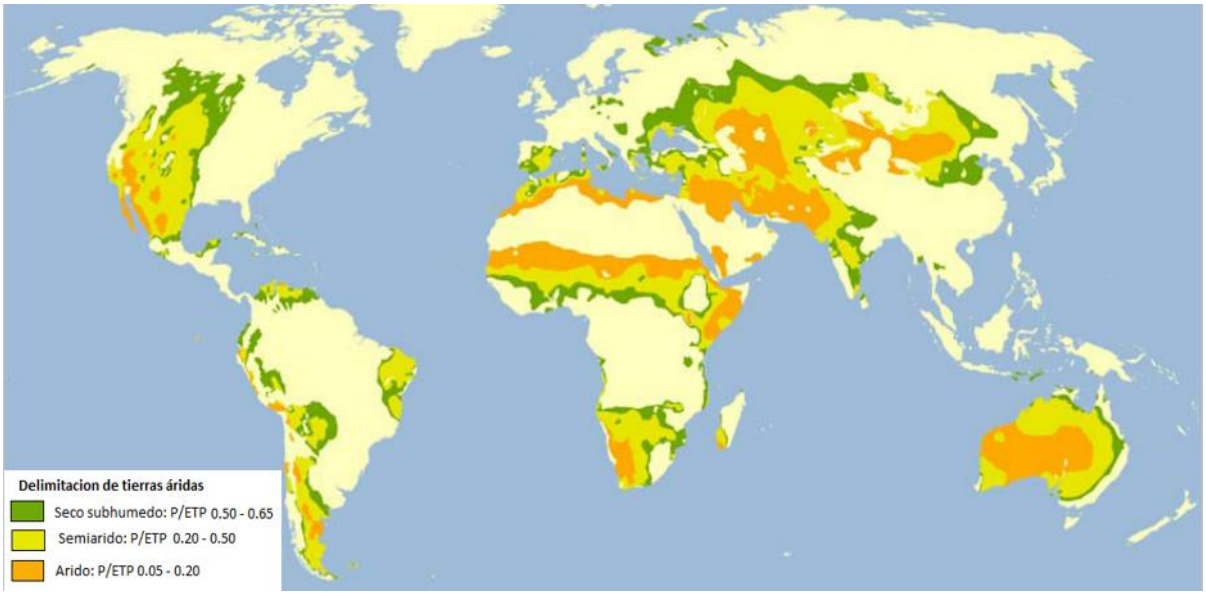

Figura 3. ESRI, 1993; CRU/UEA; UNEP/GRIP 1991. Escala 1:100 millón. Proyección Robinson.

Aproximadamente un tercio de la superficie terrestre del planeta está cubierto por zona áridas y semiáridas, cabe destacar que estos ecosistemas son muy frágiles y actualmente son afectados por distintos procesos de degradación provocados por el ser humano (Asner *et al*., 2004). Una de las principales limitantes de productividad en estos ambientes es la ausencia o escases de agua, esto repercute de forma directa o indirecta sobre los procesos ecosistémicos, socioeconómicos y culturales de estas zonas. Esta tendencia está creando y extendiendo desiertos a nivel mundial (Duarte, 2006). Otra causa importante es el acelerado crecimiento poblacional que curiosamente está asociado a las zonas áridas y semiáridas del mundo. Las técnicas de agricultura intensiva han sido uno de los principales factores de degradación del suelo, debido a que generalmente estos procedimientos

están planificados para sistemas menos frágiles, con características edafo-climáticas muy diferentes a las del trópico seco americano que en su mayoría presenta suelos rocosos y arenosos. Además, el crecimiento poblacional acelerado en estas zonas ha generado una fuerte demanda a los servicios ecosistémicos del entorno (Reyes *et al.,* 2006).

Debido a su aspecto seco y de vegetación poco exuberante, además de las bajas precipitaciones y temperaturas extremas, las tierras áridas se han considerado con bajo potencial agrícola. Sin la aplicación de buenas prácticas agrícolas, el uso de productos químicos y técnicas de riego con la expectativa de mejorar y optimizar la producción de cultivos. Este paradigma ha traído serias consecuencias a este tipo de ecosistemas, que, con el conocimiento y manejo adecuado, pueden ser altamente productivos (Hernández *et al.,* 2011).

En la República Mexicana 11 de los 13 estados que albergan ecosistemas áridos con potencial agrícola presentan suelos en estado de degradación e incremento en la desertificación (UACh, 2011). La Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA) como organismo descentralizado del gobierno federal que cuenta con patrimonio y recursos propios, tiene por objetivo atender a la población que habita en las zonas áridas y semiáridas del país, por medio de la planeación y dirección de las políticas y programas que promueven el desarrollo de las zonas áridas, semiáridas y en proceso de desertificación, aplicando medidas de manejo y conservación del suelo y agua de manera sustentable.

El conocimiento profundo de los ecosistemas áridos nos puede ayudar a mejorar el manejo del suelo e incrementar su productividad sin dañar el entorno, ya sea con fines de producción agrícola, ganadera o turística. La

falta de conocimiento en el manejo de estos recursos puede provocar la pérdida de biodiversidad, y desequilibrar el ecosistema generando una serie de problemas ambientales en cadena (Hernández *et al.,* 2011).

2.2. Degradación de Suelos

Uno de los problemas que más afecta a las comunidades que habitan en las tierras áridas es la degradación de los suelos y el entorno (Ceccon y Pérez, 2016), aproximadamente el 70% de las zonas áridas productivas presentan problemas de degradación (Granados *et al*., 2013), de manera que la desertificación de estas zonas comienza a presentar problemas para el desarrollo y bienestar del ser humano y las especies con las que cohabita. Debido a esto, en la actualidad se está tomando en serio este problema con la aplicación de soluciones alternas para reestablecer el equilibrio en estos ecosistemas. Esta situación ha sido estudiada por varios autores como Ceccon y Pérez (2016) quienes señalaron los efectos que tiene la degradación de suelos sobre las dimensiones ambientales, sociales y económicas en su libro: "*Más allá de la ecología de la restauración. Perspectivas sociales en América Latina y el Caribe,"* donde se proponen estrategias para el desarrollo en zonas áridas en las que se incluye restauración ecológica vinculada a sistemas de producción agroforestales como acción multifuncional que permite a los productores ser autosuficientes.

Un estudio realizado por Oropeza (2004), enfocado en la vulnerabilidad a la desertificación, expone que las zonas áridas no son los únicos ecosistemas vulnerables a la desertificación. En México aproximadamente el 96% de sus suelos, son propensos a sufrir efectos de degradación por distintas causas, la mayoría de los suelos en proceso de degradación se encuentran en intervalos de moderado a alto grado (Martínez, 2004).

Vulnerabilidad de las tierras ante la degradación en el territorio mexicano.

Figura 4. Grado de vulnerabilidad a la desertificación 1995 (INEGI, 1995).

Se realizó un estudio en la cuenca del Valle de Zapotitlán con el propósito de conocer la interacción que existe entre el tipo de cobertura y la degradación física y biológica del suelo (Muñoz, *et al.,* 2013). Se tomó como objeto de estudio una terraza fluvial de uso agrícola ubicada en un entorno semiseco-semicálido típico de la región con suelo tipo Fluvisol calcárico. La vegetación en la terraza fluvial se caracteriza por ser una combinación de parches de matorral espinoso, separados por claros con suelo desnudo y segmentos de costras macrobióticas. (Muñoz, *et al.,* 2013). La metodología empleada en este estudio consta de 3 muestras de suelo tomadas en 8 sitios de la terraza fluvial con diferente porcentaje de cobertura vegetal. Se analizaron 17 propiedades físicas y químicas, una vez obtenidos estos datos se calcularon los índices de degradación física y biológica para cada sitio. Los resultados indicaron que la cobertura vegetal y el uso del suelo están estrechamente relacionados a la degradación del suelo. Los principales indicios a grandes rasgos del suelo degradado son la reducción del espacio

poroso del suelo, perdida de la estabilidad de los agregados, formación de costras y aumento en la densidad aparente. Todo esto como consecuencia de la pérdida de la materia orgánica del suelo.

2.3. Condiciones Socio-Ambientales

Con respecto a las condiciones socio-ambientales de las zonas áridas podemos mencionar la falta de oportunidades laborales, el deterioro de los recursos naturales y un déficit de humedad que dificulta la vida (García *et al.,* 1993) Estos factores se evidencian en las zonas áridas del estado de Puebla y zonas similares de México, Latinoamérica y el mundo (Gómez, 2012).

Los habitantes del Valle de Zapotitlán perteneciente a un ecosistema semiárido, ubicado en el estado de Puebla y parte de Oaxaca, son testigos de los efectos de la degradación del suelo, generando consecuencias socioeconómicas; tales como, pobreza, migración y pérdida de cultura. Esto se debe a que desde hace décadas las zonas silvestres del valle han sido transformadas en áreas de intensiva explotación agrícola y ganadera.

Figura 5. Paisaje del Valle de Zapotitlán (Salas, 2019)

En el Valle de Zapotitlán, se realizó un conteo de las áreas que sufrieron cambios en la cobertura vegetal, esto se debe a la manera en que ha sido explotado el ecosistema por actividades agrícolas y ganaderas. Es evidente que la vegetación natural perdió terreno debido a la vegetación secundaria o inducida, principalmente durante la década de los ochenta y noventa, modificando notablemente el paisaje (Hernández *et al.,* 2008).

Cuadro 1. Comparación de cambios en la vegetación en el periodo 1980-1996 en el Valle de Zapotitlán. (SEMARNAT 2004).

Año	Tipo de vegetación					
	Matorral crasicaule	Chaparral	Selva baja	Pastizal Inducido	Mezquital	Agricultura de temporal
1980	311.5	38.4	30.1	0.4	Sin datos	Sin datos
1996	289.9	7.2	7	62.8	9.3	4.2

Un estudio realizado sobre la desertificación en el Valle de Zapotitlán por Morales, C. y Parada, S. (2005) establece que este fenómeno es un problema medioambiental que se debe a diversas causas, por lo general puede ser

difícil percibir el inicio de este proceso, los principales efectos negativos se manifiestan en la degradación del suelo cuando este recurso pierde su contenido de materia orgánica, disminuye sus nutrientes, el espesor del suelo y puede aparecer la acidificación o salinización; la perdida de cobertura vegetal deja el suelo expuesto a los efectos meteóricos, además de la pérdida de biodiversidad y la invasión de arbustos, cambiando notablemente el paisaje; de esta manera la infiltración del agua disminuye, llevando el nivel freático a mayores profundidades (Morales *et al.,* 2005). Por consiguiente, los efectos de la desertificación debilitan el ecosistema y afectan negativamente su productividad, generando demandas ambientales, sociales y económicas que se realimentan mutuamente intensificando cada vez más el este proceso (Osorio *et al.,* 2010).

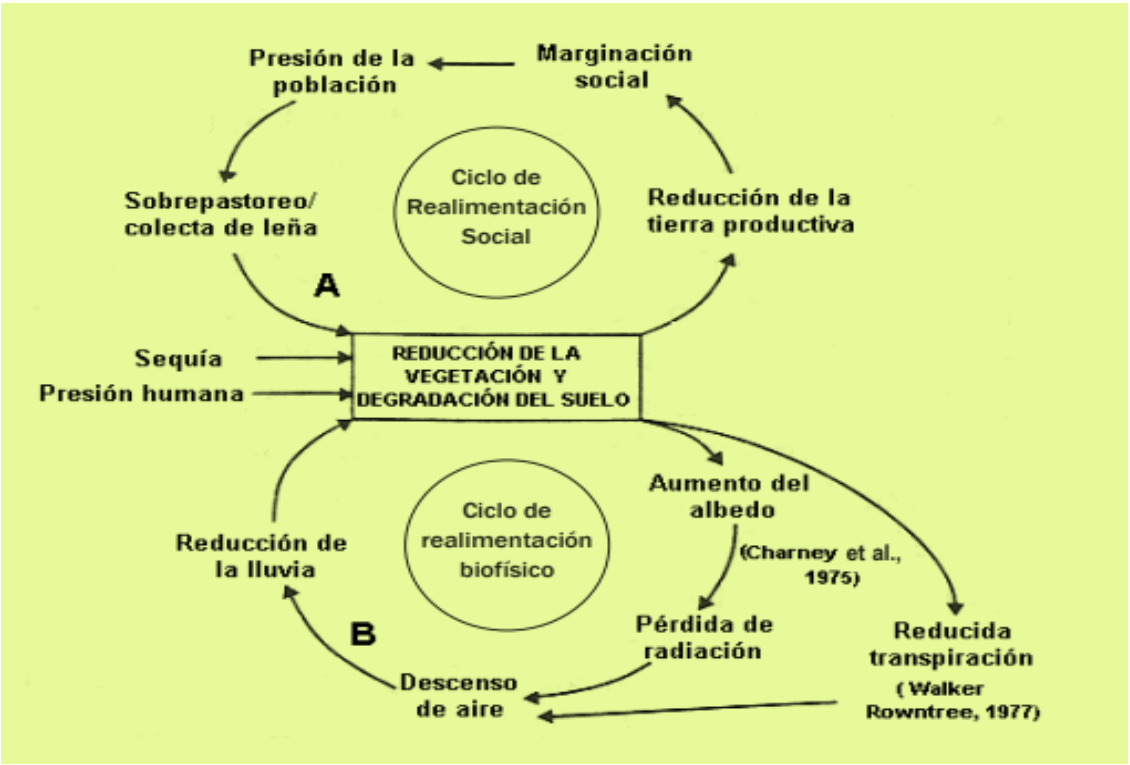

Figura 6. Ciclos de realimentación de la desertificación (Thomas y Middleton 1994).

A) La degradación o la sequía impulsan acciones humanas que generan

una degradación adicional.
B) La degradación puede provocar cambios en la atmósfera reduciendo la lluvia. Esto puede limitar el desarrollo de las plantas y producir sequía o degradación adicional

Para los pobladores de zonas rurales la agricultura es una de sus principales formas de subsistir, practicándola de forma tradicional y temporal, sin embargo, en la mayoría de los casos por las condiciones precarias en las que se lleva a cabo, no se consigue un sustancial suministro de alimentos y mucho menos de ingresos económicos. Debido a esto, durante los últimos 30 años las poblaciones de zonas rurales en México no han presentado incrementos en su tasa de natalidad, esto se debe al aumento de la migración. Los campesinos en busca de suplir sus necesidades tienden a migrar a los Estados Unidos de Norteamérica, este fenómeno se ha estado modificando (Lee, 2004).

Existen un sin número de metodologías que se aplican actualmente en las regiones áridas para paliar el déficit de humedad y los afectos de la degradación de las tierras. El desarrollo sustentable establece políticas de adaptación y mitigación para evitar la desertificación de los ecosistemas, partiendo de enfoques integrales. Por medio de la recuperación de conocimientos y tecnologías tradicionales que desde antaño sirven a los campesinos para adaptarse a las condiciones climáticas y así poder hacer frente a la desertificación. (Velasco *et al.,* 2005) recomienda en las tierras áridas sometidas a trabajos de conservación de suelos, implementar sistemas de captación de agua que permitan el aprovechamiento de las precipitaciones temporales. Para tales fines existen distintas estructuras como bordos interceptores, muros, zanjas y otras medidas que, de acuerdo con las características del terreno, facilitan la recuperación de los

ecosistemas terrestres. Para obtener mejores resultados en la restauración y conservación de ecosistemas áridos y semiáridos también es importante la selección de vegetación tolerante a la sequias, esto disminuye el costo de insumos y eleva las posibilidades de reparar los daños al ecosistema. (Velasco *et al.,* 2005)

La desertificación es un problema que sucede a nivel mundial, muchos países están sumando esfuerzos para detener el avance de los desiertos por causa de la acción humana (Martínez y Fernández, 2004). México se ha sumado a este esfuerzo mundial por rescatar y proteger los ecosistemas áridos y semiáridos, tomando acciones que combaten la desertificación, debido a esto, en diciembre de l970 se creó la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), perteneciente a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), institución que se encarga de planear, regular, dirigir y diseñar las políticas y programas destinados para detener la desertificación de los ecosistemas naturales, implementando medidas de manejo y conservación del suelo, recursos hídricos y vegetación en tierras vulnerables para prevenir problemas ambientales y mejorar la productividad (Guerrero y Pérez, 2017).

El ejido Jagüey de Ferniza situado en el municipio de Saltillo, Coahuila, es uno de los primeros lugares donde se ha implementado el sistema de captación de aguas de lluvia por medio de bordos interceptores (Velasco *et al*., 2000). La zona cuenta con una extensión de 4 632 ha, y una elevación de 2 100 msnm; su temperatura media anual fluctúa entre 16° y 20 °C, con mínimas de -15°C y máximas de 27 °C. Tiene un régimen de lluvias que consta de 2 estaciones húmedas alternadas por una temporada seca de corta duración durante el verano y la segunda temporada seca más larga durante la segunda mitad del invierno e inicios de primavera. Su

precipitación pluvial promedio es de 350 mm al año. Para la construcción de los bordos interceptores primero se definió sitio de colocación, específicamente sobre el cauce de arroyos ocasionales o cárcavas. El número de bordos de almacenamiento trazados estuvo en función del volumen de agua de escorrentía por distribuir. Al trazar cada uno de los bordos de almacenamiento se consideró que uno de los extremos del bordo funcionara como punto de desalojo para inundar el siguiente bordo localizado pendiente abajo.

Con los resultados obtenidos en el ejido Jagüey de Ferniza, La Forestal F.C.L. en 1979 llevó a cabo la construcción de 79 obras tipo bordos interceptores en los estados de: Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas y en 1990 terminó la construcción de 69 obras más. Actualmente y con la participación de FIRCO (Fideicomiso de Riesgos Compartidos), organismo público descentralizado que se coordina con la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), ha participado en forma extensiva en la construcción de diferentes módulos de escorrentía en San Luis Potosí, México (Velasco *et al.*, 2000).

La Universidad Autónoma de Yucatán en el año 2011, realizó una *evaluación cualitativa del manejo sustentable del agroecosistema de agave azul* (*Agave tequilana Weber*), en la región Sierra de Amula en Jalisco, México. El objetivo de este estudio radicó en la implementación y comprobación de sistemas agroecológicos sustentables para la producción de agave azul y la medición de su impacto dentro de las categorías de Índice de Manejo Sustentable (IMSA).

Se evaluaron 16 parcelas en un gradiente de 777 hasta 1 345 msnm. Se tomaron seis principios considerados por Altieri (1999) como básicos para considerar un manejo sustentable del agroecosistema, con un enfoque

agroecológico tales como:

1: Número de evidencias que permiten una diversificación de especies.

2: Cantidad de materia orgánica en suelo.

3: Número de prácticas que provisionan condiciones edáficas óptimas para el crecimiento del agave, manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo.

4: Número de prácticas de manejo para evitar pérdidas por erosión del suelo en terrenos con pendiente superior a 5 %.

5: Valoración según tipo de manejo para el control de plagas y enfermedades.

6: Valoración según tipo de control de malezas.

Sobre esta base se construyó un Índice de Manejo Sustentable del Agroecosistema (IMSA) el cual se clasificó en cuatro niveles.

1. Valores menores a 50 % fueron considerados con manejo no sustentable.
2. Valores de 51 a 66.6 % manejo sustentable bajo.
3. Valores de 66.7 a 83.2 % manejo sustentable medio.
4. Valores de 83.3 a 100 % manejo sustentable alto.

De las 16 parcelas evaluadas, dos fueron clasificadas con un manejo no sustentable, seis presentaron un manejo sustentable bajo, cinco se clasificaron con un manejo sustentable medio y tres con un manejo sustentable alto.

Los resultados demostraron que, aunque existen prácticas de manejo que no son sustentables en parcelas de agave azul (manejo químico de plagas

y enfermedades, uso de herbicidas, no mantienen cubierta vegetal, no usan curvas a nivel y no favorecen la biodiversidad), en la mayoría de las parcelas con productores independientes muestreadas, las prácticas, técnicas y/o tecnologías de manejo sustentable son superiores a las que resultan no sustentables. Solamente dos parcelas resultaron con un manejo no sustentable. Lo anterior, no es señal que la mayoría de las parcelas de la región se comporten de la misma forma, esta conclusión es válida únicamente para la muestra evaluada. Sin embargo, muestra ejemplos regionales de manejo sustentable que pueden difundirse entre los productores que deseen mejorar su agroecosistema. El IMSA proporciona información de cómo se realizar un buen manejo, sin embargo, no debe considerarse como el único índice para evaluar la sustentabilidad de un agroecosistema. Por tanto, el IMSA con valores cualitativos resulta ser una metodología apropiada cuando se requiere información rápida para la toma de decisiones de manejo.

2.4. El empleo de barreras vivas de *Vetiveria zizanioides*

Una de las principales medidas de conservación mejor documentadas por distintos autores son las barreras vivas. La Guía de Conservación de Suelos y Agua elaborada por el Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas en América Central (PASOLAC) publicada en 1999 establece ciertas medidas sugeridas para la distancia entre barreras vivas de acuerdo con el porcentaje de inclinación de la pendiente.

Cuadro 2. Cálculo de distancia entre barreras vivas según el porcentaje de inclinación de la pendiente. Fuente: PASOLAC, 1999.

PORCENTAJE DE LA PENDIENTE	DISTANCIA ENTRE BARRERAS VIVAS
Pendiente suave hasta 15%	10 – 30 metros
Pendiente moderada 15 – 30 %	10 – 15 metros
Pendiente fuerte 30 – 50%	4 – 10 metros

Además de determinar la distancia entre barreras vivas, otro aspecto importante a tomar en cuenta para esta medida es la selección de especie a plantar. Las especies de plantas utilizadas como barreras vivas se pueden clasificar como temporales, semipermanentes y permanentes. Por mencionar algunas de las plantas más utilizadas como barreras vivas pueden ser; *Leucaena*, *Cajanus cajan*, *Pennisetum purpureum*, Ananas comosus, *Daucus carota*, *Saccharum officinarum*, *Cymbopogon* y *Vetiveria zizanioides* entre otras (PASOLAC, 1999).

El cultivo del vetiver es una opción viable para la agricultura sostenible, además, previene problemas como la erosión y contaminación de aguas y suelos. Estos problemas ponen en riesgo el equilibrio ecológico y puede impactar directa o indirectamente en la pobreza rural (Rodríguez, *et al*., 2015).

En la zona del Ecocampus BUAP se practicaban actividades agropecuarias de manera intensiva por tiempo prolongado, en este estudio se optó por emplear sistemas de barreras vivas de *Vetiveria zizanioides* debido a sus características y beneficios. Esta planta es una buena opción para esta labor principalmente por su bajo costo, los pequeños y medianos agricultores pueden tener fácil acceso a esta planta. Entre sus características cabe destacar que esta planta pertenece a la familia de las gramíneas; siendo de tipo permanente, de crecimiento rápido y follaje denso que puede alcanzar alturas de 2 m. Se puede sembrar en climas

tropicales con temperaturas de hasta 44ºC donde puede soportar inundaciones por periodos de hasta 3 meses o más cuando ha alcanzado un buen desarrollo; y en climas áridos con temperaturas mínimas de 12ºC soportando sequias extremas, aunque generalmente requiere de al menos 3 meses de lluvias con precipitaciones mínimas de 300 mm, tiene la capacidad de rebrotar después de haber sufrido incendios o heladas debido a que tiene un fuerte sistema radicular difuso que crece de forma vertical llegando hasta 5 m de profundidad, sin competir con las raíces de los cultivos adyacentes (Böhnert, 2013). La *Vetiveria zizanioides* tiene preferencia por suelos margosos arenosos profundos y poco profundos. Pero cuenta con un amplio rango de suelos en los que se puede desarrollar. Puede crecer en pedregales, suelos con pH que varía de 3 a 11, resistiendo o soportando toxicidad por presencia de metales como aluminio y manganeso de hasta 550 ppm, además de condiciones salinas. El Vetiver también cuenta con alta resistencia ante la mayoría de las enfermedades y plagas (Rodríguez, *et al.,* 2015). Estas características de la planta han ayudado a que se conserve aproximadamente el 98% de especímenes sembrados en el Ecocampus BUAP desde la primavera del 2018.

2.5. Otras propiedades y usos de la *Vetiveria zizanioides*.

El pasto Vetiver no solamente es utilizado como barrera viva, también posee propiedades medicinales que ayudan a tratar la hipertensión, nerviosismo, histerismo, insomnio y epilepsia; también se usa para hacer techos de casas, sus hojas maduras son resistentes al ataque de los insectos, haciéndolas durables y frescas. Sirve como forraje y como abono orgánico del suelo; mejora la proporción entre el carbono y nitrógeno; y las propiedades químicas y físicas de los suelos. También tiene actividad insecticida, los extractos de la raíz actúan como repelente de plagas agrícolas y del

ganado. Por último, las hojas secas son útiles para hacer todo tipo de tejidos y productos artesanales (Rodríguez, *et al.,* 2015).

Por dichas características, esta planta suele ser utilizada por pequeños y grandes agricultores, en obras de conservación de suelo, en sistemas de captación de agua, y en la construcción de caminos.

Por lo tanto, muchas instituciones, organizaciones o proyectos, han implementado este cultivo en objetivos relacionados con la conservación y el desarrollo de sistemas sostenibles a corto, mediano o largo plazo (Rodríguez *et al*., 2015).

2.6. Construcción de muros de piedras acomodadas

Para la construcción de muros de piedras acomodadas es necesario tomar en cuenta las características topográficas del terreno, pues la mala colocación del muro podría favorecer la formación de canales de erosión por donde se escapa el agua, arrastrando con ella el suelo; en este caso la afectación por pérdida de suelo y estancamiento de agua a la vez sería un resultado contrario al objetivo por el cual se crean estas medidas para evitar la destrucción del muro (Radulovich, 1994). La distancia entre muros de piedras acomodadas depende del grado de inclinación de la pendiente y del tipo de suelo. En el siguiente Cuadro se muestra la distancia sugerida entre muros de piedras acomodadas de acuerdo con el porcentaje de inclinación de la ladera (Carrasco, 2002).

Según la Guía de Conservación de Suelos y Agua elaborada por PASOLAC se sugiere tomar en cuenta las siguientes medidas para distanciar los muros de piedras acomodadas de acuerdo con el porcentaje de pendiente:

Cuadro 3. Distancia entre muros de piedras acomodadas según el porcentaje de la pendiente (PASOLAC 1999)

Inclinación de la pendiente en porcentaje	Distancia entre muros de piedra
Pendiente suave hasta 15%	10 – 12 metros
Pendiente moderada 15 – 30 %	6 – 10 metros
Pendiente fuerte 30 – 50%	4 – 6 metros

Esta medida de conservación de suelos es muy utilizada en laderas donde la pendiente presenta un alto grado de inclinación, además se debe contar con cantidades considerables de piedras que incluso podrían dificultar la siembra de cultivos. Se debe utilizar en suelos con buena y moderada permeabilidad. En climas áridos y semiáridos son una excelente opción para disminuir el impacto por erosión hídrica. Por otro lado, en climas muy húmedos podría ser contra producente pudiendo generar encharcamiento, principalmente en suelos donde la infiltración de agua es poco efectiva, en estos casos es más conveniente implementar barreras vivas (Dubois, 1985).

3. LOCALIZACIÓN

El estado de Puebla se localiza en la región central de la República Mexicana, cuenta con una extensión territorial de 34 251 km².

Figura 7. Mapa de localización del municipio de Puebla. Fuente propia.

Este proyecto se desarrolla en una de las 3 microcuencas que conforman el Sector de Referencia localizado en Ecocampus BUAP, con coordenadas 18°56'16.25"N, 98° 8'35.48"O, próximo a la localidad de San Pedro Zacachimalpa, municipio de Puebla. Situado a una altura de 2 100 m. sobre el nivel del mar, esta zona es considerada como un ecosistema semiárido donde las precipitaciones anuales medidas durante los últimos 10 años por la estación meteorológica del Africam Zafarí son aproximadamente de 800 mm como promedio anual y están muy marcadas en el periodo de junio a octubre, donde precipitan la mayor cantidad de agua de lluvia con fuerte

intensidad, el resto del año las lluvias son muy escasas, lo cual es uno de los principales retos para lograr la restauración de este ecosistema terrestre. El suelo se ha clasificado como Cambisol, teniendo poco contenido de materia orgánica. Sin embargo, también es rico en arcillas expansivas, por lo tanto, es de baja permeabilidad y durante periodos de sequía presenta grietas largas y profundas.

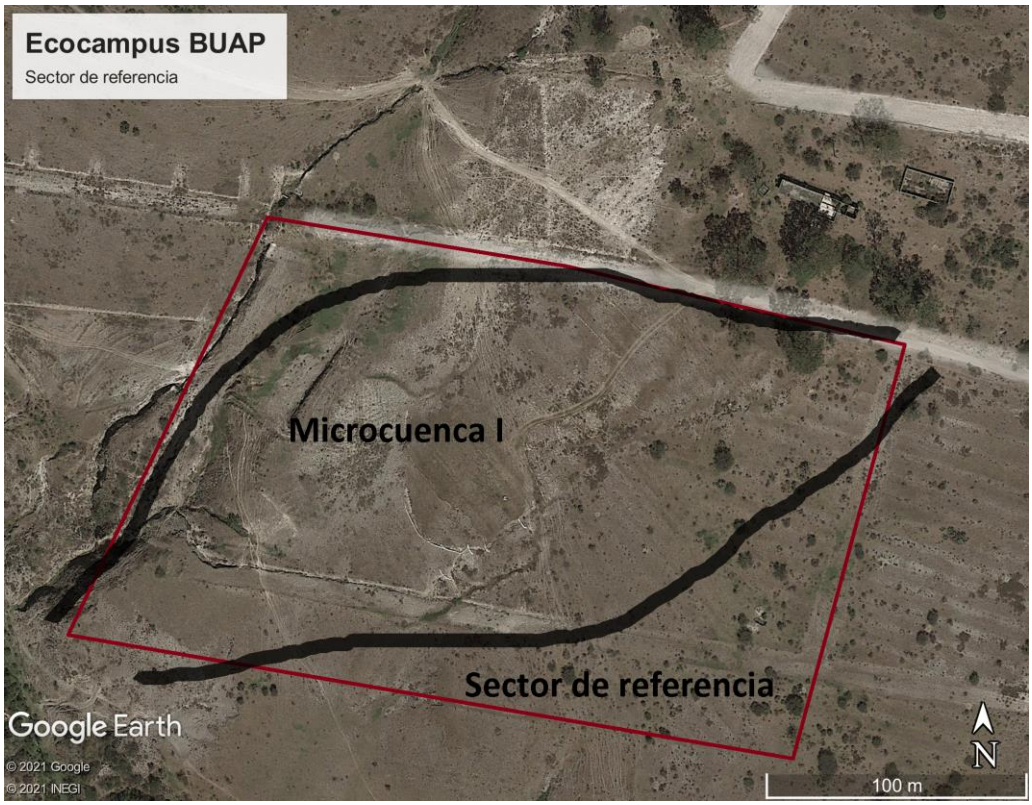

Figura 8. Ecocampus BUAP en Valsequillo. Delimitación de la microcuenca I. Fuente propia.

4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación planteadas están fundamentadas en la observación del predio, analizando su condición y estado de degradación del suelo. Es de gran importancia implementar y comprobar que las medidas de conservación y restauración de suelos sean las más indicadas para una pronta recuperación del ecosistema terrestre.

1- ¿Los sistemas de medidas de conservación y restauración del suelo son una alternativa eficaz para restaurar ecosistemas en zonas semiáridas?

2- ¿Qué cantidad de suelo se pierde cada año por la erosión hídrica en la microcuenca de estudio del Ecocampus BUAP?

3- ¿La microcuenca de estudio tiene potencial agrícola?

4 ¿Cuáles son las principales causas de la degradación en la microcuenca de estudio?

5. HIPÓTESIS

El empleo de medidas de conservación y restauración de suelos disminuye la degradación y favorece la restauración de los ecosistemas terrestres en zonas áridas del estado de Puebla.

6. OBJETIVO GENERAL

Conservar áreas con potencial agrícola y restaurar áreas degradadas en el Ecocampus BUAP en Valsequillo aplicando medidas de conservación y restauración de suelos.

7. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Disminuir los daños al suelo provocados por la erosión hídrica.
- Reducir la pérdida del suelo con medidas de conservación para evitar el aporte de solidos a la presa Valsequillo.
- Comprobar la eficiencia del sistema de medidas empleado en el predio.

8. JUSTIFICACIÓN

La finalidad de este proyecto es analizar y comprobar el uso de medidas de conservación y restauración del suelo como alternativa para mejorar y conservar los suelos en proceso de degradación en el Ecocampus BUAP. El Sector de Referencia donde se lleva a cabo este estudio es representativo de las áreas semiáridas en el estado de Puebla, con esto se espera restaurar gradualmente este ecosistema terrestre y restaurar el equilibrio ecológico de la zona.

México cuenta con 1027 611.50 km^2; el 52.86% de esta de superficie está afectada por erosión hídrica, se registraron 4 934.87 km^2 de suelos con grado extremo de erosión que representa el 0.25% de la superficie de nuestro territorio (INEGI, 2014)

La Agenda 2030 elaborada por la ONU aborda esta problemática entre uno de sus 17 objetivos de Desarrollo Sostenible, proponiendo estrategias que promuevan el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, impedir la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la calidad del suelo. Citando la Agenda 2030 en el objetivo de desarrollo sostenible número 15 se argumenta:

"De aquí a 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con efecto neutro en la degradación del suelo." (Naciones Unidas. 2016).

Con el cumplimiento de este objetivo se espera mejorar la calidad del suelo, la restauración de ecosistemas y aumentar la biodiversidad en zonas que han sido devastadas por las actividades del hombre. Además de disminuir la pobreza en zonas rurales donde la degradación de los suelos ha afectado la productividad agrícola.

9. MARCO TEÓRICO

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Porta *et al.,* 2003) define el suelo como un cuerpo natural con profundidad máxima de 2 m., conformado por tres fases que se encuentran en distintos estados, la fase sólida que contiene minerales y materia orgánica, la fase liquida que contiene agua y una fase gaseosa que interactúa con la atmosfera. La roca madre que se toma como límite inferior del suelo, puede ser ígnea o sedimentaria, pero una vez expuesta a los factores abióticos de la superficie terrestre comienzan a generarse horizontes de distintos materiales. Estos horizontes pueden estar invadidos por aguas, materiales estériles, rocas o hielo. La parte superior del suelo hace contacto con la atmosfera y aguas poco profundas, también cuenta con material orgánico.

Otra definición que podemos tomar en cuenta es la establecida por la NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 en el apartado 4.16 donde define al suelo de la siguiente manera: "*Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y*

organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad".

El termino degradar lo define la Real Academia Española como: "*Reducir o desgastar las cualidades inherentes a alguien o algo*", y de manera química es: "*Transformar una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla*". De manera que cuando hablamos de un suelo degradado, se hace referencia a que ha perdido los elementos originales de su composición primitiva. Un suelo degradado ha perdido el equilibrio en sus propiedades, por lo tanto, ha comprometido su capacidad de resiliencia para volver a un estado de productividad después de una temporada desfavorable causada por sequías, inundaciones, abandono o mal manejo humano, entre otros factores (Oldeman, 1998).

Los suelos degradados indican que los procesos de aprovechamiento y utilización de los recursos naturales han sido inadecuados, el origen de este mal manejo de recursos se debe a causas multifactoriales de ámbito social y económico que incitan actividades de producciones intensas que comprometen la capacidad de regeneración de los ecosistemas terrestres. En las comunidades rurales marginadas, la pobreza y carencia de servicios como energía eléctrica, gas y acceso al agua obligan a los pobladores a sobreexplotar los recursos naturales. Actividades como la recolección de leña para uso doméstico, tala de árboles, agricultura y pastoreo entre otras, son realizadas de manera intensiva y sin un plan de manejo sustentable, afectando los procesos naturales que mantienen el equilibrio en los componentes del suelo, y por consecuencia favoreciendo su proceso de degradación (Villaseñor, 2015). Por lo tanto, es indispensable replantearnos el uso y manejo de los recursos naturales, reorientando y planificando más cuidadosamente las técnicas de producción agrícolas y la conservación y

restauración de zonas en proceso de desertificación.

Para una mejor comprensión de la problemática en la zona de estudio a continuación, se enlistan y describen los factores que intervienen en el proceso de degradación del suelo.

- Erosión hídrica: La principal causa de pérdida de suelo en la zona de estudio se debe a la erosión hídrica. Debido a la escorrentía el espesor del horizonte "A" ha disminuido en toda la superficie. Esto se debe a las previas actividades del ser humano realizadas en esta zona. La ganadería, agricultura e incendios han acabado con la cobertura vegetal que antes protegía al suelo de la degradación hídrica. (SEMARNAT, 2003).

- Erosión hídrica con deformación del terreno: La erosión hídrica más severa produce efectos parciales como la generación de cárcavas y canales o movimientos de masa. Esto se debe al relieve y a la heterogeneidad del suelo, existe una mayor predisposición en las zonas con mayor pendiente y poca o nula cobertura vegetal. (SEMARNAT, 2003).

- Efectos de la erosión hídrica fuera del sitio: El transporte de materiales debido a la pendiente del terreno azolva la presa Valsequillo.

- Compactación: La compactación del suelo dificulta el restablecimiento de cobertura vegetal y la penetración de las raíces de las plantas. Esto se debe al paso constante de ganado,

uso frecuente de maquinaria pesada y a factores climáticos (SEMARNAT, 2003).

- Encostramiento y sellado: La ausencia de cobertura vegetal, deja el suelo vulnerable a la generación de costras de material fino, que impiden la infiltración profunda del agua de lluvia. Además, dificultan la oxigenación del suelo, destruye su estructura y disminuye el contenido de materia orgánica.

- Disminución de la disponibilidad de agua: La zona de estudio pertenece a un ecosistema semiárido, debido a esto las lluvias son estacionales, por tal motivo es importante la capacidad de almacenamiento del ecosistema. Con el estado de degradación actual se complica este proceso, ya que en algunas zonas la superficie aun no permite la infiltración del agua de lluvia. (SEMARNAT, 2003).

9.1. Principales Causas de la Degradación de Suelos a Nivel Nacional

Figura 9. Principales actividades que ocasionan la degradación de los suelos en México. SEMARNAT, Colegio de Postgraduados (2002)

La producción de alimentos es un factor que contribuye a la sobreexplotación del recurso suelo, en las zonas de pobreza las poblaciones marginadas son muy vulnerables a escases de alimentos, además los accesos restringidos a los mercados obligan a consumir y sobreexplotar los recursos locales. Los eventos meteorológicos como huracanes, inundaciones, sequias y eventos tectónicos también cumplen un papel importante en la degradación de suelos, debido a que pueden afectar la conservación y restauración de los suelos a escala regional. Es por esto que la degradación de los suelos es un problema con dimensiones sociales, ambientales y económicas.

El cambio de uso de suelo ha acelerado el ritmo en el proceso de degradación del suelo, las causas de estos cambios de uso pueden ser, varias y diversas (Lambin, 1997). Generalmente existen 3 causas por los que

se asocia el cambio de uso de suelo.

- Conversión de la cobertura del suelo.
- Degradación del suelo.
- Intensificación en el uso del suelo.

Estas actividades generan diferentes efectos en los ecosistemas terrestres, la degradación del suelo es seguida por cambios en el microclima, posteriormente declina la diversidad de especies. Los efectos pueden ser devastadores, afectando cuencas hidrográficas y por consiguiente los asentamientos humanos (Bocco *et al.,* 1999).

10. LEYES Y NORMAS MEXICANAS

En la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable se establece la responsabilidad del Estado para atender la problemática de los procesos de degradación y desertificación de terrenos forestales de la siguiente manera:

> "*Artículo 123. En los procesos de degradación o desertificación en terrenos forestales, la Comisión formulará y ejecutará, en coordinación con las Entidades Federativas, los propietarios y legítimos poseedores, programas de restauración ecológica con el propósito de recuperar y reestablecer las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los procesos naturales, manteniendo el régimen hidrológico y previniendo la erosión. Restaurando los suelos forestales degradados*".
>
> (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2015)

De igual manera se especifica que para realizar trabajos de conservación y restauración en ecosistemas en proceso de degradación no se requiere autorización del gobierno, sin embargo, se requiere del cumplimiento de las

Normas Oficiales Mexicanas establecidas para no causar daños a los ecosistemas:

> *Artículo 127. La forestación y reforestación que se realice con propósitos de conservación y restauración en terrenos forestales degradados y no requiere de autorización y solamente estarán sujetas a las Normas Oficiales Mexicanas, en lo referente a no causar un impacto negativo sobre la biodiversidad. Se impulsará la reforestación con especies forestales preferentemente nativas…*

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-060-ECOL-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal, se seleccionaron las especificaciones relacionadas a estos proyectos citados a continuación:

- *4.2 Cuando se requiera reforestación se procurará con especies nativas de la región como medida preventiva contra la erosión. (*NOM-060-ECOL-1994).

- *4.7 Se deberán proteger las áreas sujetas a cortas de regeneración, para evitar la compactación de suelo por apisonamiento y la destrucción directa de la regeneración por efecto del pastoreo. (*NOM-060-ECOL-1994).

La Norma Oficial Mexicana NOM-020-SEMARNAT-2001, establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo, entre sus especificaciones las relacionadas al presente trabajo

son:

- *4.2. Lineamientos para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo:*

    - *4.2.1 Los predios que carezcan de fronteras naturales deberán delimitarse, preferentemente con cercos vivos.*

    - *4.2.3 El mantenimiento de la biodiversidad deberá realizarse mediante prácticas de repoblación con especies leñosas y herbáceas nativas. La introducción de especies exóticas sólo podrá realizarse cuando exista suficiente evidencia experimental, validada por instituciones de investigación que demuestren la superioridad sobre las opciones nativas y que no constituyan un riesgo para los ecosistemas.*

    - *4.2.5 Los terrenos con alteración del suelo deberán ser sometidos a prácticas para su recuperación y conservación.*

    - *4.2.6 El pastoreo deberá evitarse en áreas forestales que se destinen a la repoblación o reforestación natural o inducida y/o donde haya evidencia de alteración del suelo, durante el periodo en que esté en peligro la vegetación y los suelos de referencia.*

(NOM-020-SEMARNAT-2001)

11. METODOLOGÍA

Se seleccionó una de las 3 microcuencas dentro del Ecocampus BUAP, esta área se denominó "microcuenca I". Se llevó a cabo la prospección de los suelos para realizar un diagnóstico preliminar de las condiciones existentes en esta área afectada por la actividad humana. Existen zonas que aún presentan potencial agrícola y otras degradadas en niveles que van desde moderado hasta severamente degradado (pérdida total de los horizontes edáficos). A partir de esta caracterización se trazó una estrategia para implementar medidas anti-erosivas que se aplicaron en la microcuenca I, esto de acuerdo con la pendiente y el grado de erosión del terreno. Se estableció un área con potencial agrícola, otra zona con erosión media y por último una zona con niveles de erosión en un rango que va de severa a muy severa.

11.1. Zona con potencial agrícola

Antes de implementar medidas de conservación en esta zona la cobertura vegetal ocupaba entre el 90% y 100% de la superficie. Además, esta zona tiene pendientes muy suaves menores al 5% de inclinación, por lo tanto, los daños por efecto de erosión hídrica son menores. La medida de conservación aplicada en esta zona son las barreras vivas de *Vetiveria zizanioides*. De manera que se sembraron vástagos de en posición perpendicular a la pendiente, siguiendo los surcos en contornos trazados por medio de un aparato "A" (Sánchez, 2008). Silva en 1994 propone; que la distancia en zonas agrícolas para la siembra de barreras vivas, sean pastos o cañas debe ser de 15 cm. entre vástagos. Además, recomienda en el caso de barreras dobles mantener una distancia entre 20 cm y 30 cm. En la zona de estudio se respetó una distancia mínima de 12 cm entre cada planta consecutiva. Mientras menor sea la distancia entre cada planta se obtendrán mejores resultados en el crecimiento y desarrollo, logrando una

mayor eficiencia para la retención de suelo. Sin embargo, de esta forma se requieren más ejemplares y podría elevar los costos.

11.2. Zona con erosión moderada

Esta zona se caracteriza por tener pendientes que entre 10% y 15% de inclinación y suelos poco profundos donde los efectos de la erosión hídrica son más intensos. Debido a estas características se tomó la decisión de implementar muros de piedras acomodadas. Esta medida de conservación ayuda principalmente a retener sedimentos deslavados por las aguas de escorrentía que en ocasiones pueden ser relativamente altas. Con el paso del tiempo se comienzan a formar terrazas en la ladera gracias al suelo retenido por los muros. Se tomó la decisión de mantener distancias de 8 m a 10 m. entre cada muro. Para su construcción se utilizaron piedras obtenidas en la misma zona de estudio. Su colocación al igual que las barreras vivas se realizó sobre las curvas de nivel y de manera perpendicular a la pendiente. Se combinaron medidas de conservación colocando barreras vivas en la parte superior del muro de piedras acomodadas. Esta combinación mejora la infiltración de agua y la fertilidad del suelo (Radulovich, 1994).

En las áreas donde la pendiente se aproxima a 15% de inclinación el suelo se vuelve menos profundo, esto se debe a que la escorrentía ha arrasado con la mayor parte del suelo; por lo tanto, en esta zona se instaló un muro de piedras cementadas de 15 m de extensión. Al igual que con las barreras vivas y los muros de piedras acomodadas, se respetaron las curvas de nivel por medio de un aparato "A".

11.3. Zonas con erosión severa y muy severa

Esta zona cuenta con pendientes cercanas a 15% de inclinación, aquí los efectos de la erosión hídrica son más intensos, la mayor parte de los horizontes A, B y C han sido deslavados, quedando expuesto el material parental. Por tal motivo, el nivel de erosión se clasificó en severo y muy severo, en base a este análisis se reforestó con especies arbóreas como *Taxodium mucronatum, Pinus pinea* y *Leucaena leucocephala*; se excavaron hoyos de 25x25 cm y se construyeron cajetes y muros en media luna para cada espécimen. Además, se colocó cobertura muerta en las zonas expuestas; de esta manera los muros individuales captan suelo transportado por la escorrentía y la cobertura muerta aplicada, ayuda a conservar humedad alrededor de la planta, mejorando las condiciones para su desarrollo.

Para aprovechar las escasas precipitaciones y mejorar la infiltración en el subsuelo, en el 2018 se construyeron 8 zanjas trincheras a lo largo de toda la ladera, para esto se siguieron curvas de nivel y el material producto de la excavación se colocó como bordo en la parte posterior de la trinchera y se reforzó con líneas dobles de *Vetiveria zizanioides* para evitar su perdida por erosión hídrica. La distancia que se mantiene entre cada zanja está en función del escurrimiento que se desea captar. Las medidas que se tomaron para esta estructura son de 40 cm de ancho con 60 cm de profundidad.

El agua almacenada por esta medida se puede utilizar en sistemas de micro riego durante los períodos críticos de sequía, aunque la mayor parte es asimila por infiltración.

Se llevó a cabo la construcción de represas para controlar el crecimiento de cárcavas, hay que tener en cuenta que esta medida debe ser apoyada por las barreras vivas y muros de piedras acomodadas en las zonas más altas de la ladera, de esta manera se disminuye el aporte de sedimentos

arrastrados por escorrentía a las represas. Este sistema de medidas además de contribuir a la protección de los suelos es un factor importante para la disminución de la erosión hídrica y el azolve de partículas sólidas a la presa Manuel Ávila Camacho o presa Valsequillo.

12. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

12.1. Instalación de la infraestructura.

Las condiciones favorables a la erosión de los suelos que existen en la microcuenca de estudio han provocado serios problemas de deterioro de este recurso; para mejorar las condiciones naturales se implementó un sistema de medidas antierosivas conformado por distintas medidas de conservación y recuperación de suelos que contribuyen en devolver las condiciones originales en esta parte del territorio poblano. Cabe destacar que entre los antecedentes de la zona de estudio nunca se había realizado ninguna labor de conservación de suelos, siendo este trabajo el primero en su historia. Por lo tanto, será necesario realizar un seguimiento durante los próximos años para obtener cambios más significativos.

La infraestructura instalada está diseñada desde la parte más alta hacia la presa, el objetivo es disminuir el impacto de la fuerza del agua que escurre hacia la presa, retener el suelo arrastrado y captar agua de lluvia, la infraestructura está conformada en la parte inicial por barreras vivas de *Vetiveria zizanioides*, combinadas con muros de piedras acomodadas, en toda la microcuenca se instalaron un total de 12 muros, en este estudio por dificultades debida al tiempo interrumpido por la pandemia del covid-19, solo se estudian 5 muros. En el área con potencial agrícola aledaña se sembraron barreras vivas de *Vetiveria zizanioides*, sembradas en surcos en contornos trazados con el aparato A o caballete (Figura 10); la distancia de separación entre barreras está determinada por el grado de la pendiente y

la intensidad de la erosión. Aquí la pendiente es menor a 5 % y grado de erosión moderada, se emplearon distancias entre 10 y 12 m de separación.

Figura 10. Barreras vivas de *Vetiveria zizanioides,* Sembradas en un área con potencial agrícola en 2017.

En las áreas donde existen cárcavas producto de la erosión hídrica se construyeron muros de piedras acomodadas perpendiculares a la pendiente, éstos se construyeron en dependencia de la extensión del área de impacto y la finalidad es comprobar la eficiencia a través de la retención de suelos por estos muros. En la parte central donde circula en la temporada de lluvias una gran cantidad de agua se construyeron 2 zanjas trincheras, cuya finalidad es la captación de agua de lluvia y la retención de suelo arrastrado por las aguas de escorrentía; la retención de agua por estas obras permanece en las zanjas por espacio de 5 días en el caso de las zanjas cuya base está formada por un material semi consolidado (rocas en proceso de transformación) y la infiltración es más rápida, el agua permanece estancada por 7 días o más en el caso de las zanjas trincheras con una base formada por capa compacta de suelo arcilloso.

En una de las aguadas (Espacios donde se concentran las aguas de escorrentía) más importante que se producen en el sector de referencia en la época de lluvias, se construyeron 4 represas de mampostería. Su función es retener suelo y disminuir la cantidad de sólidos que son arrastrados hacia la presa Valsequillo. En la parte más baja de la microcuenca I coincide un área con erosión moderada y otra con grado de erosión severa, en esta zona se construyó un muro de piedras y rocas cementadas cuya función es retener el suelo arrastrado de las partes más altas; además, se emplea para depositar la masa de suelo que es acarreada de las construcciones civiles de CU y el suelo extraído de las zanjas trincheras construidas en el predio; esta actividad, es una alternativa para recuperar las áreas degradadas de manera práctica y debe ser tenida en cuenta por los gobiernos municipales, estatales y federal para acordar con las constructoras de obras civiles la recuperación de suelos excavados de éstas en beneficio de la restauración de zonas agrícolas degradadas.

13. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE MEDIDAS IMPLEMENTADO

13.1. Control de la erosión en áreas agrícolas

En las áreas con potencial agrícola, debido a las particularidades del relieve y la intensidad de la erosión solo fue necesario la siembra de *Vetiveria zizanioides* para el control de la erosión; estas barreras vivas se han evaluado periódicamente de forma visual y en ninguna de las 8 barreras sembradas en esta área se ha detectado suelo retenido en los últimos 4 años desde que se iniciaron las siembras en la primavera del 2017; lo cual, es una evidencia de la eficacia; no de las barreras vivas, sino de la cobertura vegetal del pasto bajo que se desarrolla de forma natural, es un pasto muy denso(gramínea) de hojas gruesas y alargadas (15 a 20 cm), de textura ligeramente coriácea, un sistema de raíces gruesas, difuso y muy denso que conforma una capa vegetal con protección muy sólida contra la erosión

por salpicadura. En condiciones semi áridas, los suelos agrícolas localizados en áreas similares a las descritas en este párrafo, la cobertura vegetal de pastos bajos es una medida eficaz para controlar la erosión hídrica.

13.2. Disminución de sólidos hacia cuerpos de agua

Uno de los problemas ambientales graves de los cuerpos localizados en territorio como el que se estudia, es la contaminación por partículas sólidas arrastradas por las aguas de escorrentía que favorecen el azolve de éstos, y justamente en la presa Valsequillo sucede este fenómeno, debido a que cada año por medio de la erosión hídrica se depositan toneladas de suelo dentro de este importante cuerpo de agua.

13.2.1. Retención de suelo en muros de piedras acomodadas

La construcción de los muros de piedras acomodadas es un trabajo rudo y laborioso por la carga y acarreo de piedras y rocas, esta actividad es recomendable para zonas de pendientes con abundante contenido de rocas en la superficie, es muy útil para el control de cárcavas, que son áreas donde se concentran corrientes de agua fuertes, para asegurar la estabilidad de los muros, es necesario auxiliarla con la siembra de setos vivos que al crecer le dan mayor fortaleza y durabilidad. Esta medida es una de las más eficientes en el control de cárcavas por la cantidad de suelo que pueden retener (Figura 11). En la microcuenca I se han construido 12 muros de piedras acomodadas; de estos, se ha podido pesar el suelo retenido en 5 muros construidos en un área de control de cárcavas, los resultados del pesaje se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Suelo retenido por los muros de piedras acomodadas.

SUELO RETENIDO EN LOS MUROS DE PIEDRAS ACOMODADAS			
MURO	PESO EN Kg.	PORCENTAJE DE SUELO RETENIDO TOTAL	LARGO DEL MURO EN METROS
MURO V	948	66	50
MURO IV	307	21	14
MURO III	132	9	10
MURO II	23	1.5	11
MURO I	29	2.5	8
TOTAL	1439 Kg.		

En este cuadro se puede apreciar las medidas del largo de cada muro. Siendo el V muro el más grande con el 66 % del suelo total captado por esta medida; los muros más pequeños, al encontrarse en la parte más alta retienen menos suelo debido a su menor longitud.

Figura 11. Retención de suelo en uno de los muros de piedras acomodadas construido en la primavera 2018.

Figura 12. Muro de piedras acomodadas III construido en el 2018.

Figura 13. Muro de piedras acomodadas V. Construido en 2018.

El muro V tiene un largo de 50 metros y recibe las aguas de escorrentía que circulan por la cárcava. Además, al ser el muro localizado en la parte más

baja, también recibe aguas de un área fuera de la cárcava y con ello también el suelo arrastrado de estas áreas. Por esta razón la cantidad de suelo retenido en esta medida (cuadro 3) es muy alta con respecto a los otros muros.

13.2.2. Análisis estadístico del suelo retenido en los muros de piedras acomodadas.

El análisis estadístico se realizó con la información obtenida durante la recolección del suelo retenido tomando en cuenta la cantidad de botes de suelo acumulado que se extrajeron de cada muro. Haciendo uso de minitab 17 se obtuvieron los siguientes valores:

Cuadro 5. Media con desviación estandar, valores maximos y minimos de cada muro de piedras acomodadas.

VARIABLE PESO EN Kg					
MUROS	CUENTA TOTAL	MEDIA	MINIMO	MEDIANA	MAXIMO
MURO I	59	16.42 ±2.42 AB	10.00	16.00	21.00
MURO II	18	17.05 ±1.92 A	12.00	17.00	20.00
MURO III	8	16.5 ±4.38 AB	9.00	16.00	25.00
MURO IV	2	11.5 ±6.36 B	7.00	11.00	16.00
MURO V	2	14.5 ±3.54 AB	12.00	14.00	17.00

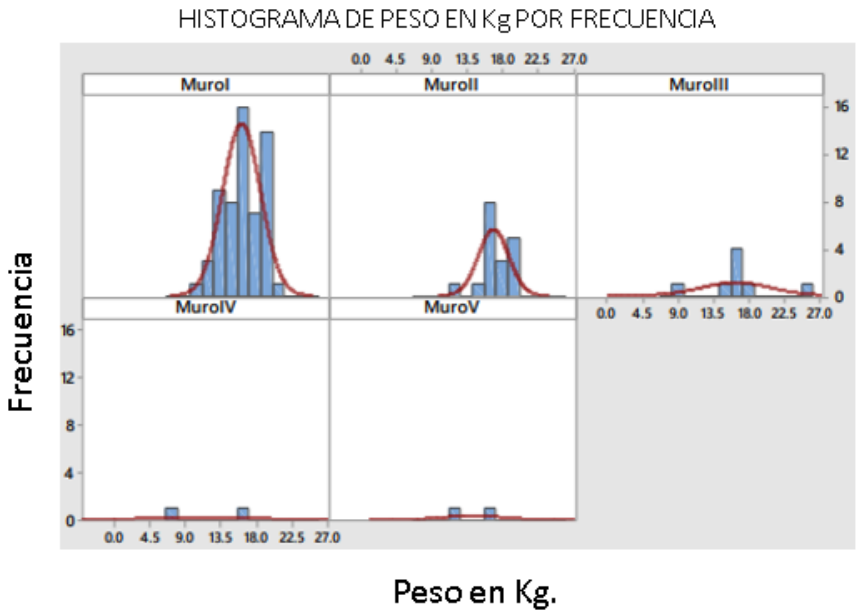

Figura 14. Graficas de peso y frecuencia en cada muro.

Para el análisis de varianza se establecieron los siguientes parametros:

- Hipótesis nula (H_0) : Todas las medias son iguales
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una media es diferente
- Nivel de significancia de 0.05

De manera que se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 6. Análisis de varianza de los muros de piedras acomodadas.

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
muro	5	MuroI; MuroII; MuroIII; MuroIV; MuroV			
Analysis of Variance					
Source	DF	ADJ SS	ADJ MS	F-VALUE	P-VALUE
TipoMuro	4.000	63.090	15.772	2.240	0.071
Error	84.000	590.350	7.028		
Total	88.000	653.440			

Debido a que el valor obtenido en P-value es mayor a la significancia establecida de 0.05 la hiótesis nula es aceptada, estableciendo que las

medias de cada muro son iguales. En la siguiente Gráfica (figura 15) de cajas y bigotes podemos apreciar la distribución de los datos, efectivamente las medias mantienen una tendencia similar entre sí, las variaciones entre las medias del muro II y el muro IV se deben a la amplia distribución de ciertos datos que pueden tomarse como anómalos.

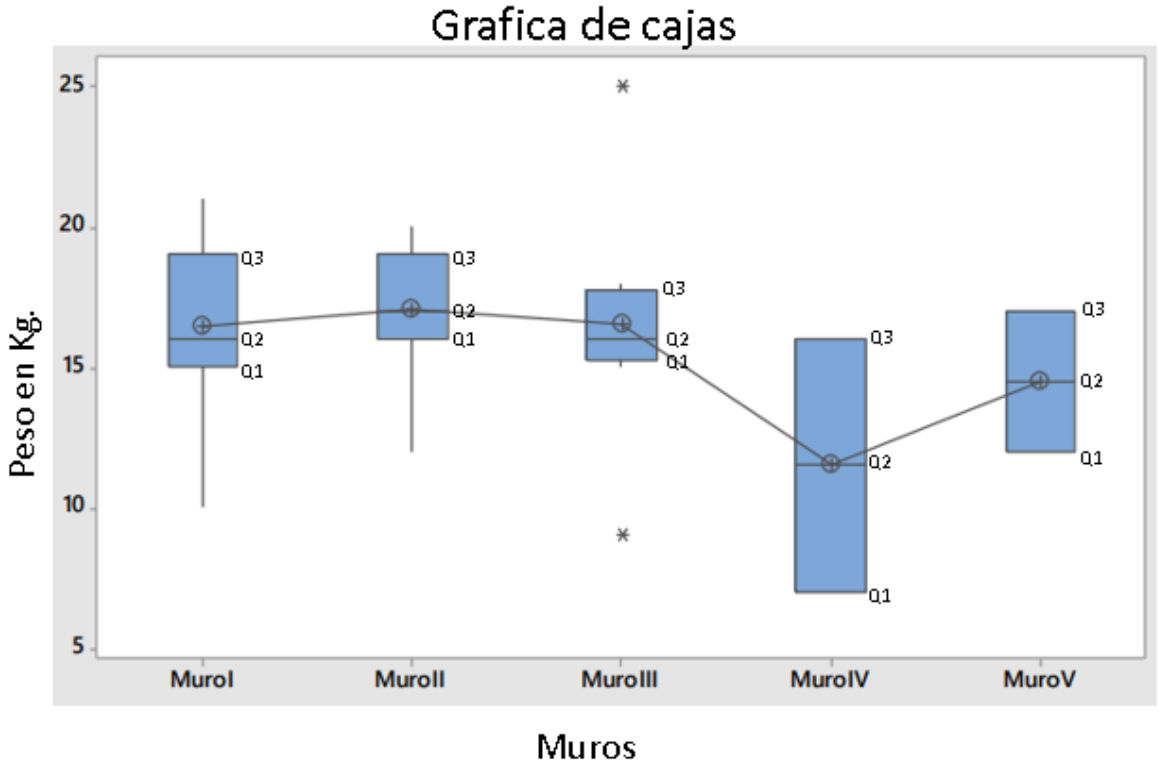

Figura 15. Grafica de cajas y bigotes para la comparación de las medias de cada muro de piedras acomodadas.

13.2.3. Retención de suelo en las zanjas trincheras

Se llevó a cabo la construcción de 8 zanjas trincheras con la función de captar agua y retener suelo arrastrado por las aguas de escorrentía, tal y como lo plantean *Cotler, y col., 2015*. Un beneficio adicional de la aplicación de esta medida es la disposición de cierta cantidad de suelo almacenado en las zanjas que puede ser reutilizado como sustrato en los viveros, reincorporado al suelo en áreas agrícolas o como restauración de áreas degradadas. *Cortés y Vargas* (2017), reportaron la retención de 485 kg por ha. en zanjas trincheras y la recomiendan como una de las mejores opciones para contratacar los efectos por escorrentía.

De las 8 zanjas trincheras construidas, solo se han podido pesar el suelo retenido en las zanjas I y II; la zanja trinchera más grande es la VI, y se localiza en la parte baja de la microcuenca I. Por lo tanto, es la Zanja con mayor capacidad en captación de agua y retención de suelo.

La primera Zanja trinchera se localiza en la parte media de la zona de estudio y tiene una dimensión de 6 66 m^2, es decir, puede retener 6 660 litros de agua. Debido a su posición esta zanja es la primera en recibir el impacto de las aguas de escorrentía, durante la primavera del 2018 recuperó 236 Kg de suelo en la zanja trinchera I y en la zanja trinchera II se captaron 94 kg de suelo.

Figura 16. Zanja trinchera I construida en la primavera de 2018.

La segunda zanja trinchera localizada más abajo de la primera cuenta con una capacidad de retención de 3708 litros. De esta manera retuvo 94 Kg de suelo.

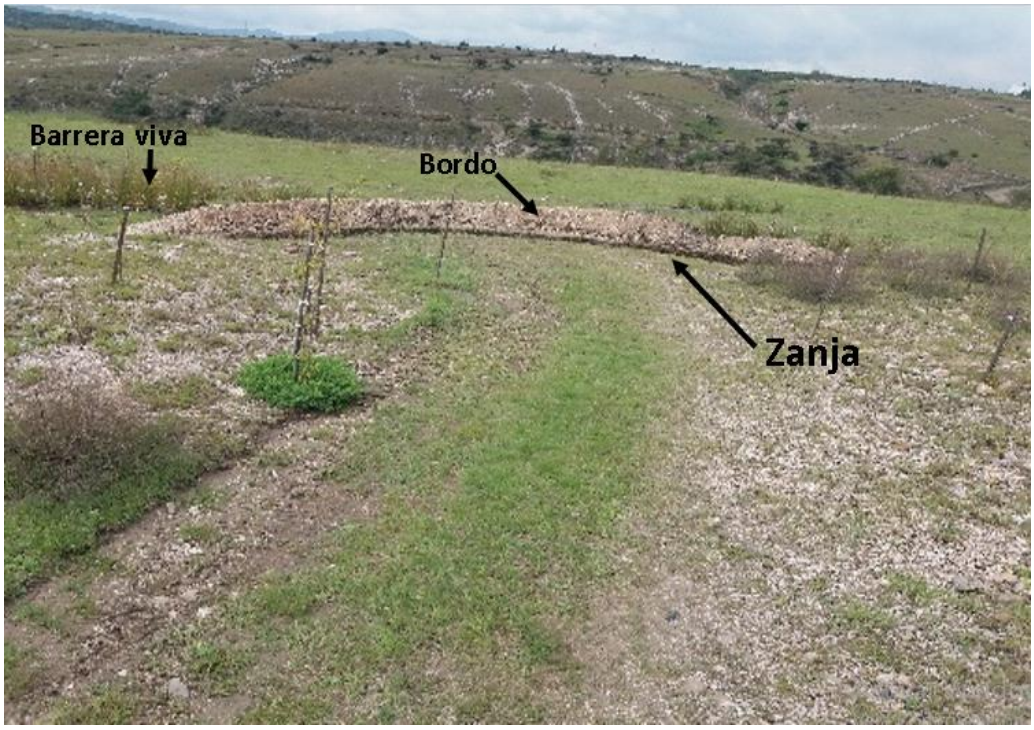

Figura 17. Zanja trinchera II, construida en la primavera del 2018.

13.2.4. Análisis estadístico del suelo retenido en las zanjas trincheras

El análisis estadístico se realizó con la información obtenida durante la recolección del suelo retenido tomando en cuenta la cantidad de botes de suelo acumulado que se extrajeron de cada trinchera. Haciendo uso de minitab 17 se obtuvieron los siguientes valores:

Cuadro 7. Media con desviación estandar, valores maximos y minimos de las Zanjas trincheras.

VARIABLE PESO EN Kg					
ZANJAS TRINCHERAS	CUENTA TOTAL	MEDIA	MINIMO	MEDIANA	MAXIMO
ZANJA I	13	14.85 ± 2.15	12.00	15.00	19.00
ZANJA II	6	15.67 ± 1.37	14.00	15.00	18.00

Histograma de peso en kg y frecuencia

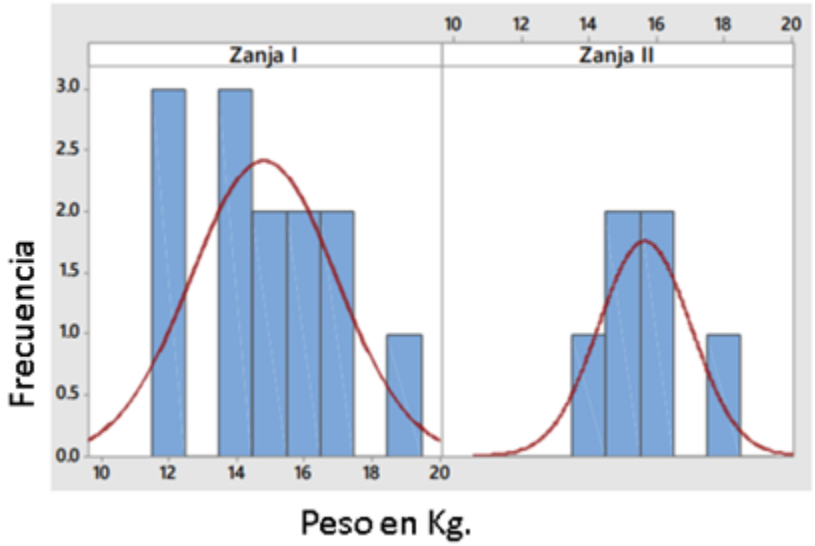

Figura 18. peso en kg de suelo retenido y frecuencia de cada Zanja trinchera.

Debido a que solo contamos con los resultados de solo 2 zanjas trincheras, se optó por un análisis de prueba T, estableciendo los siguientes parámetros:

- Hipótesis nula (H_0) : Todas las medias son iguales
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una media es diferente
- Nivel de significancia de 0.05

De manera que se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 8. Resultados obtenidos en la prueba T para las zanjas trincheras.

Prueba T para peso en Kg.		
Diferencia	Media (zanja I) - Media (zanja II)	
Estimación de la diferencia	-0.821	
95% de intervalo de confianza	(-2.857; 1.216)	
T-Test of difference	T-Value = -0.85	**P-Value = 0.407**
Both use Pooled StDev	1.9558	

Debido a que el valor en p-value es mayor a 0.05, la hipótesis nula es aceptada, por lo tanto ambas medias son iguales. Esta afirmación se puede verificar en la siguiente grafica.

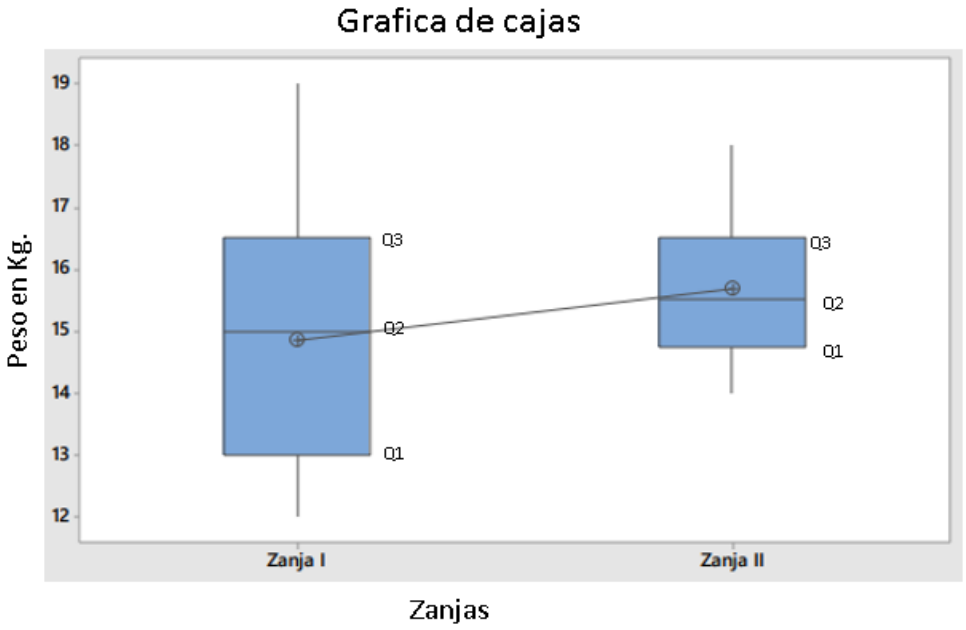

Figura 19. Comparación de medias de la zanja I y II donde no se observan diferencias significativas entre ellas.

13.2.5. Retención de suelo en represas de mampostería

Para disminuir la cantidad de sólidos hacia la presa se construyeron en la microcuenca de estudio 4 represas de mampostería; se colocaron sobre el cauce de una de las aguadas que contribuye al azolve de la presa con sólidos (Partículas de arena, arcillas y materia orgánica). Solo en la temporada de lluvias de la primavera del 2018, estas 4 represas contribuyeron con la captación de 1.3 T de suelo en un área de impacto menor a una ha, recordemos que este es solo uno de los sistemas de medidas antierosivas aplicadas en un año. En las Figuras 21-24 se puede apreciar la distribución de la cantidad de suelo retenido por cada represa; en la primera represa se captó el 58 % del suelo arrastrado hacia la presa Valsequillo, la segunda represa captó el 22 %; entre ambas evitaron que el 80 % del suelo arrastrado por las aguas de escorrentía se convirtieran en azolve para la presa Valsequillo. Más de una tonelada de suelo retenido solo entre dos obras de conservación en un año, es suficiente para justificar la eficacia de la implantación de esta medida de conservación; las ultimas 2 represas en la posición del relieve solo captaron algo más del 20% de suelo, esto nos lleva a reflexionar sobre la conveniencia de disminuir la construcción del número de represas para ahorrar recursos sin afectar la eficiencia.

Eficiencia de las represas de mampostería.

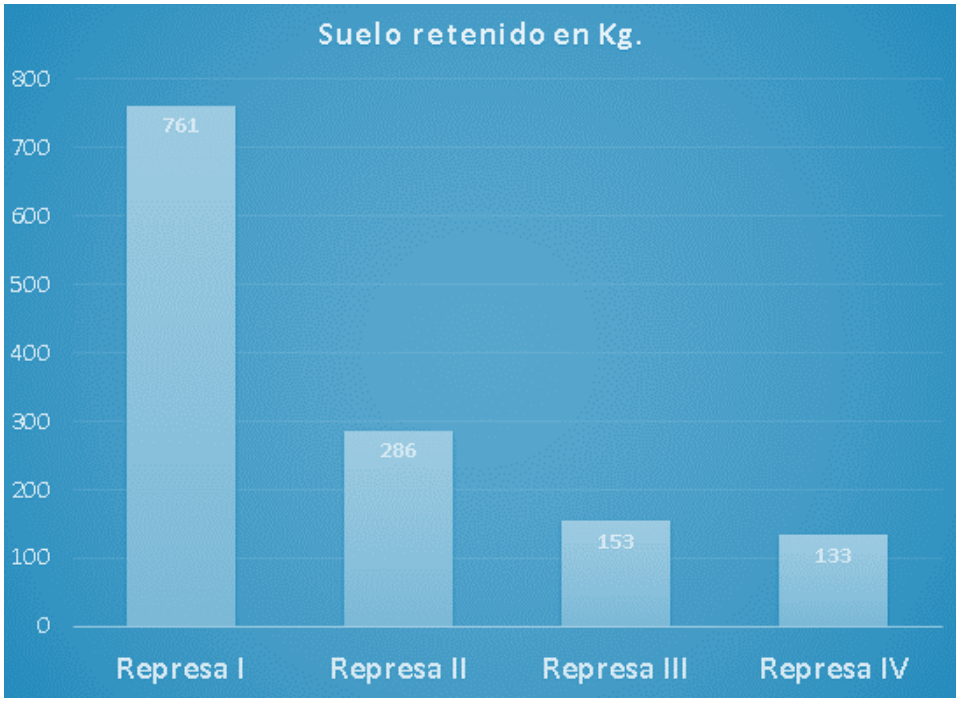

Figura 20. Cantidad de suelo retenido por cada represa durante la temporada de lluvias del 2019.

La pendiente en la represa I es de 14%, en la figura 21 se puede apreciar el suelo retenido, siendo la represa con mayor porcentaje de recolección de suelo con respecto a las otras. A pesar de las medidas implementadas en la parte superior del terreno, el arrastre de suelo ha sido considerable debido a la lenta recuperación de la cobertura vegetal.

Figura 21. Represa I construida en el Sector de Referencia del Ecocampus BUAP en Valsequillo.

En la represa II la cantidad de suelo retenido es menor, sin embargo, sigue siendo una cantidad de suelo considerable a pesar de la cercanía con la primera represa. En la Figura 22 se puede apreciar que debido a la efectiva retención de suelo y humedad la vegetación en la represa ha incrementado.

Figura 22. Represa II. Siembra de vetiver en forma de herradura para estabilizar el talud de la represa.

En la represa III se pude notar una menor retención de suelo con respecto a las anteriores, esto indica que el arrastre de solidos ha disminuido considerablemente, siendo efectivas las primeras 2 represas.

Figura 23. Represa III construida en el Sector de Referencia del Ecocampus BUAP en Valsequillo.

En la ultima represa el suelo retenido es minimo, debido a la efectividad de las anteriores. Confirmando que el arrastre de solidos ha sido detenido en su mayoria, evitando asi el aporte de solidos en la presa Valsequillo.

Figura 24. Represa IV construida en el Sector de Referencia del Ecocampus BUAP en Valsequillo.

13.2.6. Análisis estadístico del suelo retenido en las represas de mampostería

El análisis estadístico se realizó con la información obtenida durante la recolección del suelo retenido tomando en cuenta la cantidad de botes de suelo acumulado que se extrajeron de cada represa de mampostería. Haciendo uso de minitab 17 se obtuvieron los siguientes valores:

Cuadro 9. Media con desviación estandar, valores maximos y minimos de las represas de mampostería.

VARIABLE PESO EN Kg					
REPRESAS	CUENTA TOTAL	MEDIA	MINIMO	MEDIANA	MAXIMO
REPRESA I	39	19.564 ± 2.36 A	10.00	20.00	23.00
REPRESA II	14	20.429 ± 2.10 A	15.00	20.50	24.00
REPRESA III	8	19.125 ± 1.36 AB	17.00	19.50	21.00
REPRESA IV	7	16.143 ± 2.61 B	11.00	17.00	19.00

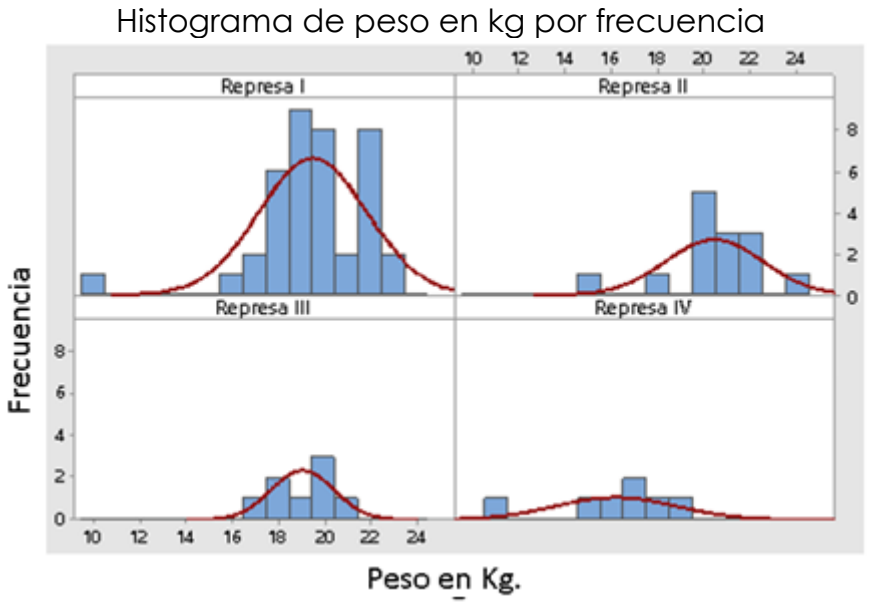

Figura 25. Grafica de peso en kg y frecuencia de cada represa de mampostería.

Para el análisis de varianza se establecieron los siguientes parametros:

- Hipótesis nula (H_0) : Todas las medias son iguales
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una media es diferente
- Nivel de significancia de 0.05

De manera que se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 10. Análisis de varianza de las represas de mampostería.

Factor Información					
Factor	Levels	Values			
TipoRepresa	4	Represa I; Represa II; Represa III; Represa IV			
Análisis de varianza					
Source	DF	ADJ SS	ADJ MS	F-VALUE	P-VALUE
TipoRepresa	3.000	90.470	30.157	5.980	0.001
Error	64.000	322.750	5.043		
Total	63.000	413.220			

Debido a que p-value es menor que el parámetro establecido de significancia, la hipótesis nula es rechazada, por lo tanto, la hipótesis alternativa es aceptada, estableciendo que las medias de cada represa son distintas.

Para comprobar tal efecto tenemos la siguiente grafica de cajas y bigotes:

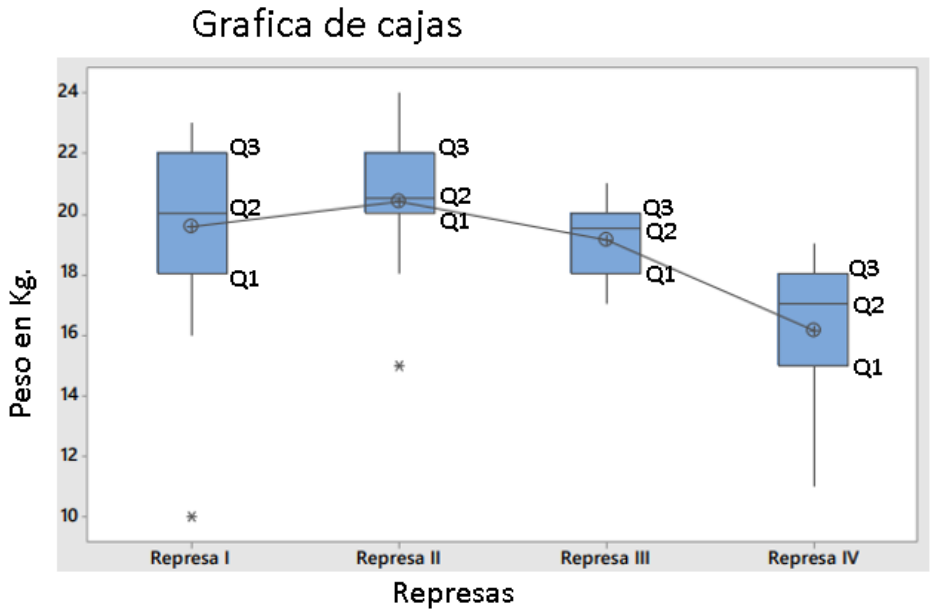

Figura 26. Comparación de medias de cada represa de mampostería, donde se aprecia la diferencia entre las medias de cada una.

Ayudados del método de Tukey con un margen de 95% de confianza, se realizó una comparación de las medias en cada represa. En este caso podemos apreciar similitud entre las medias de la represa I y II, incluso la III, por otro lado, notamos diferencias entre las 2 primeras con la represa IV.

Cuadro 11. Comparación de medias de cada represa de mampostería.

REPRESA	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
REPRESA I	39	19.564	A
REPRESA II	14	20.429	A
REPRESA III	8	19.125	AB
REPRESA IV	7	16.143	B

13.2.7. Muros de piedras cementadas para retener suelo

En la parte sur del área de estudio existe una zona con erosión severa que limita hacia el norte con otra zona con niveles de erosión muy severa, en esta parte la degradación de las tierras ocurre en forma de talud, el agua de escorrentía al llegar a este punto fluye casi verticalmente y va creando un "frente de erosión" que cada vez empuja más el talud hacia el norte, generando una superficie con abundantes piedras y gravas entremezcladas con restos de suelo y ocasionalmente partes totalmente desnudas. En esta área se levanta un muro de piedras cementadas sustentado en la parte expuesta de la roca (Figura 27), quedando un espacio entre la pared norte del muro y el talud del suelo que forma el frente de erosión.

Figura 27. Muro de piedras cementadas construido en otoño 2017.

Sobre este espacio del frente de erosión se está depositando el suelo de las excavaciones de las zanjas trincheras; también se deposita en este lugar, suelo acarreado de las construcciones civiles de CU, que es depositado en esta parte desnuda y poco a poco va restaurando áreas degradadas con la "siembra de suelos", en la Figura 28, se puede apreciar el área recién recuperada y que constituye una alternativa de la recuperación de suelos.

Figura 28. Acarreo de suelo para recuperar áreas degradadas.

Los muros de piedras cementadas han cumplido con la función de retener suelo, sin embargo, la relación costo-beneficio debe ser evaluada con detenimiento. Para algunos agricultores puede resultar muy costoso porque presenta mayores costos de construcción al requerir materiales como cemento y arena, además de mano de obra capacitada para su construcción. Sin la planeación debida los resultados podrían ser desalentadores, por otro lado, en un escenario adecuado esta medida presenta ciertas ventajas, principalmente al tener mayor soporte ante las causas que podrían destruirlos; como el paso del ganado, el arrastre de la escorrentía y los encharcamientos. Los muros cementados son buena opción en lugares donde existe riesgo de afectaciones por rodamiento de escombros debido a que oponen mayor resistencia ante los desplazamientos por gravedad.

A continuación, se demuestra un conteo total de todo el suelo captado por las medidas de conservación implementadas en la microcuenca I.

Recordemos que previo a la instalación de esta infraestructura, estas toneladas de suelo eran depositadas de manera continua en la presa Valsequillo, provocando el azolve de este cuerpo de agua. Por medio de las medidas implementadas, este suelo permanece sobre la ladera, siendo conservado y aprovechado de la manera correcta.

Cuadro 12. Captación del suelo por las medidas de conservación implementadas en la microcuenca I.

Medida de conservación de suelo		Suelo captado en KG	
Muros de piedras acomodadas	Muro de piedras I	948	Total 1439
	Muro de piedras II	307	
	Muro de piedras III	132	
	Muro de piedras IV	23	
	Muro de piedras V	29	
Zanjas trincheras	Zanja I	236	Total 330
	Zanja II	94	
Represas de mampostería	Represa I	761	Total 1313
	Represa II	286	
	Represa III	153	
	Represa IV	113	
Cantidad de suelo recuperado por todas las medidas			3082 Kg.

En la Figura 29 podemos reconocer la participación y efectividad de cada medida de conservación que ayuda a retener suelo, resaltando su capacidad ante las otras. En el caso de este estudio, podemos ver a los muros de piedras acomodadas como la medida más eficaz para captar suelo, esto puede deberse a que tienen mayor extensión la microcuenca I, además de ser la primera medida posicionada contra la pendiente de la ladera. De manera que podría ser la medida más recomendada para atender situaciones similares en otras zonas que cumplan con las mismas características.

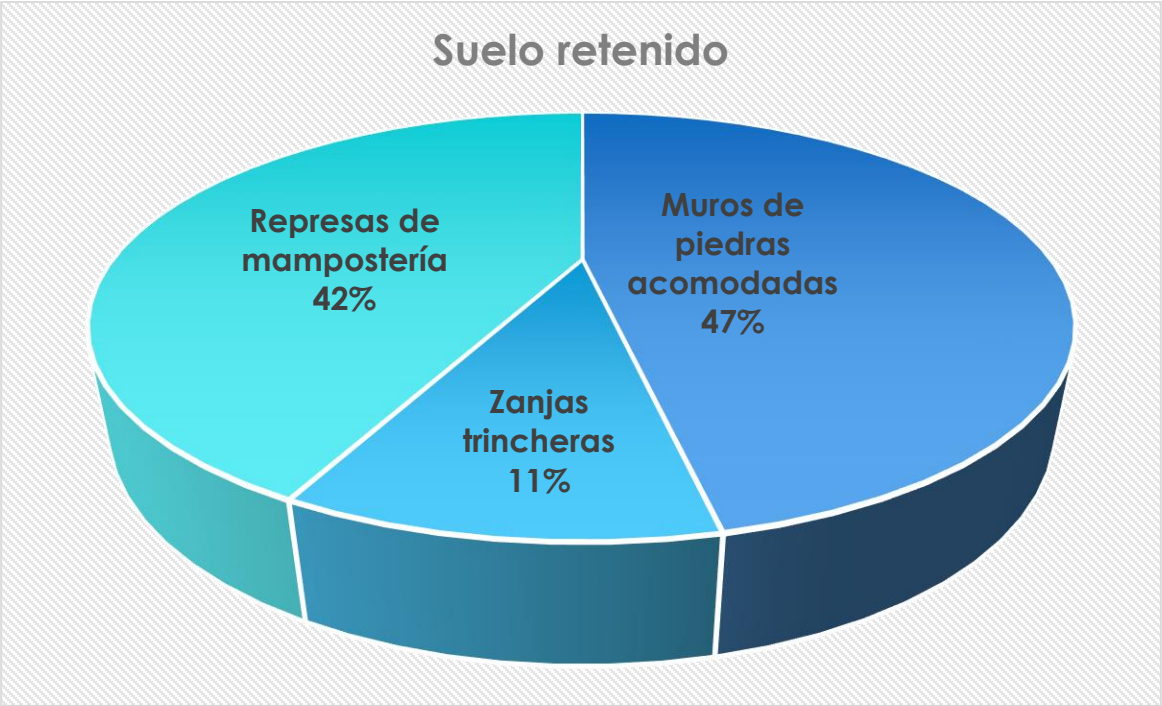

Figura 29. Porcentaje de suelo retenido total de cada medida implementada dentro de la microcuenca I.

14. CONCLUSIONES

- La instalación de la infraestructura para conservación y restauración de los suelos, debe considerarse como un logro importante de este trabajo.
- La cobertura vegetal formada por pastos silvestres bajos es suficiente para la protección de los suelos en zonas áridas con pendientes suaves.
- Los muros de piedras acomodadas son una medida más eficaz para combatir la erosión hídrica, siempre y cuando se cumplan las condiciones del entorno para implementar esta medida.
- La construcción de represas de mampostería es una alternativa eficaz para disminuir la cantidad de suelo arrastrado hacia los cuerpos de agua y evitar el azolve de éstos.

15. RECOMENDACIONES

- Los gobiernos municipales, estatales y federal deben realizar convenio con las constructoras de obras civiles para la recuperación de suelos extraídos por las excavaciones, en beneficio de la restauración de zonas agrícolas degradadas.
- Continuar con el monitoreo y mantenimiento de las medidas implementadas en el Ecocampus BUAP. Con el seguimiento correcto de estas labores se puede obtener más información.

16. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andrade B., Del Carmen, O., Rodríguez, P., y Oscar S. (2002). Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. Bioagro, vol. 14, núm. 3, pp.123-133.

Adeel Zafar, Safriel Uriel, Niemeijer David, White Robin, Et Al (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Desertificación. Washington, DC: World Resources Institute.

Astaburuaga, R. (2004). El agua en las zonas áridas de Chile. Santiago, Chile: Revista ARQ ensayos y documentos. 57:68-73

Asner G., Elmore A., Olander L., Martin R. y Harris A. (2004). Grazing systems, ecosystem responses, and global change. Anual Review of Environment and Resources 29:261-299

Becerra-Moreno, A. (1998). Conservación de suelos y desarrollo sustentable, ¿utopía o posibilidad en México? Terra Latinoamericana, 16(2):abril.junio.

Böhnert-Sapecho, J. (2013). Blog vetiver Puerto Rico. The Vetiver Network International. Disponible en: http://www.vetiverpr.info/2010/06/introduccion-la-planta-vetiver.html Fecha de consulta: 09 de oct de 2019.

Bocco G., Mendoza, M. y Masera, O. (1999). La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 44:18-38.

Urquiza, M., Alemán, C., Flores, L., Ricardo, M. y Aguilar, Y. (2011) Manual de procedimientos Manejo Sostenible de Tierra. CIGEA. Cuba, 186 p.

CITMA. (2005) Programa de Asociación de País. Ciudad de La Habana. 170 p.

Chapela, G. y Álvarez, G. (2007). Estudios e investigaciones del centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria. México: Cámara de diputados, LX legislatura, congreso de la unión. México, 264 p.

Cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible (2002) 17a sesión plenaria comunicado final. Johannesburgo, Sudáfrica disponible en: https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/WSSDsp_PD.htm Fecha de consulta 15 de septiembre de 2019

Dubois, J. (1985). Sistemas y practicas agroforestales para los trópicos húmedos de baja altura: Una contribución para el estado actual de conocimiento. Taller sobre investigación agroforestal en la región Amazónica. Brasil, pp. 427-441

Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva. 8(2):175-182

Carrasco, J. (2002) Practicas de conservación de suelos [en línea]. Santiago: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias Disponible en: http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR28124.pd (Consultado: 17 febrero 2021).

Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos Ciencias. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. UNAM, México. 1(91):21-29

Ceccon, E. y Pérez, D. (2016). Más allá de la ecología de la restauración. Perspectivas sociales en América Latina y el Caribe. Buenos Aires: LARREA.

Cortés, E. y Vargas, V. (2017). Evaluación de cuatro prácticas

agroecológicas de conservación de suelos de ladera en Guasca – Cundinamarca. Corporación universitaria minuto de dios, Facultad de ingeniería agroecológica Bogotá D.C.

Cotler, H., Cram, S., Martínez, S. y V. Bunge (2015), "Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera", Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM, México, Boletín 88:6-18

Cueva, P. (2018). Propuesta de estructura de disipación de energía para el control de la perdida de suelo por erosión hídrica en cárcavas en la microcuenca Sonocco Juli – Puno. Universidad nacional del altiplano, facultad de Ingeniería Agrícola escuela profesional de Ingeniería Agrícola. Puno, Perú.

Duarte, C. (2006). Cambio global Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Cyan, Proyectos y Producciones Editoriales, S.A. Madrid, España.

FAO. (2019). Marco de la FAO sobre pobreza extrema rural: Hacia el logro de la meta 1.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Roma.

FAO (1981). A framework for land evaluation. Second printing. Fao Soils bulletin 32 (Electronic Document) ed. 1981, Rome. paginas

Gonzáles, F. (2012). Zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Instituto Nacional De Ecología. México, D.F. paginas

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). Inseguridad Alimentaria 2002: La Población Se Ve Obligada a Convivir con el hambre y teme morir de inanición. Roma, Italia: FAO.

Fuentes, A., Gavito, M., Van der Wal, H., Aldasoro, E., Ayala, B., Bullén, A., Cach, M., Casas, A., González, C., Jaramillo, P., Martínez P., Masera, O., Pascual, F., Pérez, D., Robles, R., Ruiz, I. y Villanueva, G. (2017). Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 88:150-

160

Gardi, C., Angelini, S., Barceló, J., Comerma, C., Cruz, A., Encina, A., Jones, P., Krasilnikov, M., Brefin, L., Montanarella, O., Muñiz, P., Schad, M., Rodríguez, V. Y Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxemburgo: Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

Granados, D., Hernández, M., Vázquez, A. y Ruíz, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente 19(1):45-66

Guerrero, B. y Perez-Negrón, R. (2017). Evolución, prospectiva y administración de las zonas áridas de México. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. México.

Hernández, R., Ortega, R., Zavala, J., Baca del Moral, J. y Martínez, M. (2008). Diagnóstico ambiental y estrategias campesinas en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, municipio de Zapotitlán, estado de Puebla. Revista de Geografía Agrícola 41:55-71.

Hernández, M., Carrasco, G. y Alfaro, G. (2011). Degradación del suelo en una zona semiárida tropical de México. Revista geográfica de América Central, 2:1-14

Hevia, A. (2006). Desarrollo humano y ética para la sustentabilidad. Universidad de Antioquia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

López, J. (2006). Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla: E.U.I.T.A.

Lambin, E. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. In: Progress in Physical Geography: an international review of geographical work in the natural and environmental sciences. Department of Geography, Université catholique de Louvain, place Louis Pasteur. Louvain-La-Neuve, Belgium.

Lee, A. (2004). "¡Vivimos de las piedras! La industria del ónix y la migración internacional, Zapotitlán Salinas, Puebla, 1960-2000. En: La Economía Política de la Migración Internacional en Puebla y Veracruz: siete estudios de caso. CONACYT-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades. México, pp. 137-171.

Legorreta, A. y Osorio, M. y Salvador, J. (2010). Ética ambiental y turismo: relación responsable hombre-naturaleza. Ciencia y Sociedad XXXV (3):407-437

López, F. (2015). Degradación del suelo ¿fatalidad climática o mala gestión humana? hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterráneo. Revista Papeles de geografía 20:49-64.

Martínez, J., Fernández, F., (2004). Cambio climático: Una visión desde México. SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. México pp. 227-238.

Mazuela, P. (2013). Agricultura en zonas áridas y semiáridas. Idesa 31(2):3-4 (mayo-agosto)

Monteagudo, A. (2014). Siembra comercial de cultivos genéticamente modificados en el campo mexicano: una herramienta viable para el desarrollo rural sustentable y la seguridad alimentaria. El Cotidiano 188:103-109.

Moreno, A., Estrella, N., Escobedo, S., Bustamante, A. y Gerritsen, P. (2011). Prácticas de manejo agronómico para la sustentabilidad: características y medición en agave *Tequilana weber* en la región sierra de Amula, Jalisco. Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems. 14(1):159-169.

Muñoz, D., Ferreira, M., Escalante, B. y López, G. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. Revista Terra Latinoamericana,

31(3):201-210

Nebel, J. y Wright R. (1999). Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible. Prentice Hall. México. Pp. 6-12

Noy-Meir I. (1973). Desert Ecosystems: Environment and producers. Annual Review of Ecology and Systematics, 4:25-55.

Ruiz, J., Castelán, R., Tamariz, V. y Hernández, A. (2013). Ciencias Ambientales. Temáticas para el Desarrollo. Volumen VI. Puebla, México: Editorial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Oldeman, R. (1988). Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. Wageninen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).

Porta, J., López, R. y De Laburu, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 929 pp.

Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central, PASOLAC. (2000). Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua. New Graphic, S.A. de C.V. San Salvador, El Salvador

Naciones Unidas. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. LC/G.2681-P/REv.3) Santiago de Chile.

Radulovich, R. (1994). Tecnologías productivas para sistemas agrosilvopecuarios de ladera con sequia estacional. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica, 189P

Rodríguez A., Rebolledo C., y Escalona Y. (2015). El uso del cultivo vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), una alternativa para el desarrollo sostenible. Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la agenda", 36:23-40

Reyes, H., Aguilar, M., Aguirre, J., y Trejo, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 59:26-42

Reynolds, J., Maestre, F., Huber, E., Herrick, J. y Kemp, P. (2005). Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. Revista Ecosistemas 14(3):3-21

Ruiz, V., Bravo E. y Loaeza R. (2001). Cubiertas vegetales y barreras vivas: Tecnologías con potencial para reducir la erosión en Oaxaca, México. Terra Latinoamericana, 19(1):89-95

Sánchez, P., Ocampo, I., Sánchez, M. y Martínez, T. (2008). Proceso autogestivo para la conservación de suelos y agua en sistemas campesinos sustentables. Los casos de Vicente Guerrero y la Reforma, Tlaxcala. Ra Ximhai Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable. 4(2):165-181.

Salas, J. (2000). Hidrología de zonas áridas y semiáridas. Ingeniería del agua, 7(4):409-412.

SEMARNAT. (2010). Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras. México, D.F: Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental.

Silva, O. (1994). Evaluación del escurrimiento y la erosión en condiciones de sabana y bosque claro de altas pendientes. Caso Macapo, estado Cojedes". Revista Core, 2(2):81-86.

Schwinning, S. (2004). Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid Ecosystems. School of Natural Resources, University of Arizona, pp. 211-220.

Tayupanta, J. (1993). La erosión hídrica: Proceso, factores y formas. Boletín divulgativo Estación Experimental Santa Catalina, No. 229.

Thomas, D. y Middleton, N. (1994). Desertification exploding the myth. J. Wiley and Sons. Chichester, England. 207 p.

Urquiza, N., Alemán, C., Flores, L., Ricardo, M. y Aguilar (2011). Manual de procedimientos para el Manejo Sostenible de Tierras. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CITMA). La Habana, Cuba. Editorial CIGEA 186p

Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, Ecosistemas 14(2):203-204

Velasco, H., Silva, A., Veenhuizen, S., Prieto, M., y Anaya, M. (2000). Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina. FOODAGRI SANTIAGO. Santiago, Chile.

Vergara, J., y Squella, F. (2001). Conservación y recuperación de suelos: Construcción de obras eficientes. Terra Adentro, 37:46-49

Villaseñor, L. (2015). Informe final del Proyecto JM013 Modelación de la riqueza y distribución potencial del bosque húmedo de montaña. Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Biología. México, pp. 2-21.