



---

---

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
INSTITUTO DE CIENCIAS  
CENTRO DE AGROECOLOGÍA

MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

ÍNDICE DE ESCURRIMIENTO EN SUELO CON  
CINCO PLANTAS NATIVAS, EN SAN PEDRO  
ZACACHIMALPA, PUEBLA

TESIS

Que para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta  
I.A.F. DANIEL TRUJILLO GARCÍA

COMITÉ TUTORIAL  
Dr. Primo Sánchez Morales  
Dr. José Cinco Patrón Ibarra  
Dr. Cristobal Sánchez Sánchez

DIRECTOR DE TESIS  
Dr. Dionicio Juárez Ramón

Puebla, México

Enero, 2024.

# ACTA DE AUTORIZACIÓN

## AGRADECIMIENTOS

# ÍNDICE

|  |            |
|--|------------|
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>  | <b>vi</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>  | <b>vii</b> |
| <b>RESUMEN.....</b>  | <b>ix</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>  | <b>3</b>   |
| 2.1. Importancia del suelo.....  | 3          |
| 2.2. Erosión del suelo.....  | 6          |
| 2.2.1. Erosión hídrica.....  | 7          |
| 2.2.3. Erosión eólica.....   | 8          |
| 2.3. Coeficiente de escurrimiento.....   | 9          |
| 2.4. Importancia de la cobertura vegetal.....  | 9          |
| 2.5. Variedades locales: importancia en el diseño de agroecosistemas sustentables..... | 10         |
| 2.6. Efectos de la vegetación sobre la erosión.....                                    | 11         |
| 2.7. Efectos de la erosión sobre la vegetación.....                                    | 12         |
| 2.8. Relaciones vegetación-erosión.....  | 13         |
| <b>3. IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS NATIVAS.....</b>                                      | <b>13</b>  |
| 3.1. Estado actual de las plantas nativas en el estado de Puebla.....                  | 14         |
| 3.2. Riqueza florística del estado de Puebla.....                                      | 15         |
| 3.3. Clasificación por tipos de plantas.....   | 15         |
| 3.4. Selección de las plantas nativas.....   | 17         |
| <b>4. JUSTIFICACIÓN.....</b>   | <b>20</b>  |
| <b>5. OBJETIVOS.....</b>   | <b>21</b>  |
| <b>6. HIPÓTESIS.....</b>   | <b>22</b>  |
| <b>7. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>  | <b>23</b>  |
| 7.1. Área de estudio.....  | 23         |
| 7.2. Diseño experimental.....  | 24         |
| 7.3. Instalación del experimento.....  | 26         |
| 7.4. Trazado del lugar para la instalación de las unidades experimentales.....         | 27         |
| 7.5. Selección del material para la elaboración de las unidades experimentales.....    | 28         |
| 7.6. Instalación de las unidades experimentales.....                                   | 28         |
| 7.7. Selección de especies nativas a utilizar.....                                     | 30         |

|  |           |
|--|-----------|
| 7.8. Propagación de especies.....  | 31        |
| 7.9. Método de siembra.....  | 34        |
| 7.10. Siembra en campo de las especies nativas conforme a tratamiento designado.....   | 35        |
| 7.11. Variables evaluadas y métodos usados para la estimación de datos.....  | 36        |
| 8. Toma de datos.....  | 37        |
| 8.1. Evaluación del porcentaje de germinación de las especies nativas.....   | 37        |
| 8.2. Agua escurrida.....   | 37        |
| 8.3. Suelo erosionado.....   | 38        |
| 8.4. Área real de la unidad experimental.....  | 39        |
| 8.5. Coeficiente de escurrimiento.....   | 39        |
| 8.6. Intensidad de lluvia.....   | 40        |
| 8.7. Análisis estadístico.....   | 40        |
| <b>9. RESULTADOS.....</b>  | <b>41</b> |
| 9.1. Propagación efectiva por especie vegetal nativa.....  | 41        |
| 9.2. Trasplante y aclimatación de las especies.....  | 44        |
| 9.3. Escurrimiento superficial con presencia de especie vegetal nativa y laboreo del suelo (barbechado y no barbechado)..... | 45        |
| 9.4. Suelo erosionado.....   | 49        |
| 9.5. Cantidad de agua escurrida.....   | 50        |
| 9.6. Cantidad de agua de lluvia colectada.....   | 52        |
| 9.7. Coeficiente de escurrimiento por especie vegetal.....   | 53        |
| 9.8. Evaluación de la cobertura vegetal.....   | 56        |
| 9.9. Ciclo biológico de las plantas nativas.....   | 56        |
| <b>10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>11. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>63</b> |
| <b>12. LITERATURA CITADA.....</b>  | <b>64</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <i>Figura 1. Área de estudio de la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla.....</i>                                     | <i>24</i>                            |
| <i>Figura 2. Distribucion de las unidades experimentales con tres repeticiones en el área de estudio. ....</i>         | <i>26</i>                            |
| <i>Figura 3. Área para el establecimiento del experimento.....</i>   | <i>27</i>                            |
| <i>Figura 4. Trazado del lugar en instalaciones de Ecocampus BUAP .....</i>  | <i>27</i>                            |
| <i>Figura 5. Material utilizado para la elaboración de los cajones.....</i>  | <i>28</i>                            |
| <i>Figura 6. Elaboración de cajones de madera.....</i>   | <i>29</i>                            |
| <i>Figura 7, 8, 9. Instalación de cajones. ....</i>  | <i>29</i>                            |
| <i>Figura 10. Colocación del plástico. ....</i>  | <i>29</i>                            |
| <i>Figura 11. Dyssodia tagetiflora.....</i>  | <i>31</i>                            |
| <i>Figura 12. Dodonaea viscosa.....</i>  | <i>31</i>                            |
| <i>Figura 13. Dahlia excelsa .....</i>   | <i>31</i>                            |
| <i>Figura 14. Muhlenbergia robusta.....</i>  | <i>31</i>                            |
| <i>Figura 15. Cosmos bipinnatus.....</i>   | <i>31</i>                            |
| <i>Figura 16. Colecta de semillas para la propagación de especies nativas .....</i>                                    | <i>35</i>                            |
| <i>Figura 17. Propagación asexual de D. viscosa.....</i>   | <i>35</i>                            |
| <i>Figura 18. Propagación de especies bajo invernadero.....</i>  | <i>35</i>                            |
| <i>Figura 19. Propagación asexual de C. bipinnatus.....</i>  | <i>35</i>                            |
| <i>Figura 20. Propagación sexual de D. tagetiflora.....</i>  | <i>35</i>                            |
| <i>Figura 21. Aclimatización y crecimiento de C. bipinnatus.....</i>   | <i>35</i>                            |
| <i>Figura 22 y 23. Plantación de especies a evaluar con barbecho de suelo. ....</i>                                    | <i>36</i>                            |
| <i>Figura 24. Agua escurrida en el contenedor por evento de lluvia.....</i>  | <i>38</i>                            |
| <i>Figura 25. Recolección de suelo erosionado.....</i>   | <i>¡Error! Marcador no definido.</i> |
| <i>Figura 26. Secado de suelo.....</i>   | <i>¡Error! Marcador no definido.</i> |
| <i>Figura 27. Pruebas de germinación en D. excelsa .....</i>   | <i>43</i>                            |
| <i>Figura 28. Desarrollo de plantas de D. tagetiflora .....</i>  | <i>43</i>                            |
| <i>Figura 29 y 30. Pruebas de germinación de Cosmos bipinnatus .....</i>   | <i>44</i>                            |
| <i>Figura 31. Desarrollo en la unidad experimental de C. bipinnatus.....</i>   | <i>45</i>                            |
| <i>Figura 32. Desarrollo en la unidad experimental de M. robusta.....</i>  | <i>45</i>                            |
| <i>Figura 33. Comportamiento de la precipitación (mm) registrada en el sitio de estudio, durante el año 2022. ....</i> | <i>46</i>                            |
| <i>Figura 34. Cantidad de agua escurrida (L/m<sup>2</sup>) por tipo de labranza. ....</i>                              | <i>48</i>                            |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 35. Cantidad de agua escurrida (<math>L/m^2</math>) con presencia de plantas de diferentes especies nativas, <i>Dyssodia tagetiflora</i>, <i>Cosmos bipinnatus</i>, <i>Dodonaea viscosa</i>, <i>Dahlia excelsa</i>, <i>Muhlenbergia robusta</i>, Testigo.....</b> | <b>48</b> |
| <b>Figura 36. Cantidad de suelo erosionado en <math>g/m^2</math> con respecto a la cantidad de agua escurrida en <math>L/m^2</math>.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>Figura 37. Cantidad promedio de agua (<math>L/m^2</math>) colectada por evento de lluvia con capacidad de escurrimiento, comparada con la precipitacion (mm). .....</b>  | <b>53</b> |
| <b>Figura 38. Coeficiente de escurrimiento comparado con la precipitacion en (mm) por evento de lluvia.....</b>   | <b>54</b> |
| <b>Figura 39. Coeficiente de escurrimiento, con presencia de plantas de diferentes especies nativas <i>Dyssodia tagetiflora</i>, <i>Cosmos bipinnatus</i>, <i>Dodonaea viscosa</i>, <i>Dahlia excelsa</i>, <i>Muhlenbergia robusta</i>, Testigo. ....</b>                   | <b>55</b> |
| <b>Figura 40. Luminosidad (luxes), con presencia de plantas de diferentes especies nativas <i>Dyssodia tagetiflora</i>, <i>Cosmos bipinnatus</i>, <i>Dodonaea viscosa</i>, <i>Dahlia excelsa</i>, <i>Muhlenbergia robusta</i>, Testigo.....</b>                             | <b>56</b> |
| <b>Figura 41. Ciclo biológico de las cinco especies nativas utilizadas en el experimento para el año 2022.....</b>  | <b>57</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Cuadro 1. Resultados del análisis textural del suelo del área del experimento.....</b> | <b>23</b> |
| <b>Cuadro 2. Descripción de tratamientos.....</b>   | <b>25</b> |

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <b>Cuadro 3. Información sobre la propagación sexual de las especies nativas de San Pedro Zacachimalpa, Puebla seleccionados para la instalación del experimento. ..</b>  | <b>32</b>                            |
| <b>Cuadro 4. Información sobre la propagación asexual de las especies nativas de San Pedro Zacachimalpa Puebla, seleccionados para la instalación del experimento. ..</b> | <b>33</b>                            |
| <b>Cuadro 5. Variables a evaluar en campo.....</b>  | <b>37</b>                            |
| <b>Cuadro 6. Evaluación de la propagación asexual de cinco especies nativas de la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla.....</b>   | <b>41</b>                            |
| <b>Cuadro 7. Evaluación de la propagación sexual de las cinco especies nativas. ....</b>  | <b>42</b>                            |
| <b>Cuadro 8. Método de propagación con mayor porcentaje de germinación de cinco especies de plantas nativas de la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla. ....</b>        | <b>43</b>                            |
| <b>Cuadro 10. Cantidad de suelo total erosionado por evento de lluvia mayor a 10.5 mm.</b>  | <b>49</b>                            |
| <b>Cuadro 11. Cantidad de suelo erosionado con presencia de plantas de diferentes especies nativas. ....</b>  | <b>50</b>                            |
| <b>Cuadro 12. Cantidad de suelo erosionado (g/m<sup>2</sup>) ocasionado por evento de lluvia representativa. ....</b>   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable suelo erosionado en el periodo de septiembre-diciembre del 2022, en San Pedro Zacachimalpa, Puebla. ....</b>          | <b>52</b>                            |
| <b>Cuadro 14. Análisis de varianza del coeficiente de escurrimiento. ....</b>   | <b>54</b>                            |
| <b>Cuadro 15. Desviación estándar del coeficiente de escurrimiento de cada una de las especies nativas. ....</b>  | <b>55</b>                            |

## RESUMEN

La zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla presenta un alto índice de erosión hídrica del suelo, factores como la cobertura vegetal y el índice de escurrimiento intervienen en este proceso. Es por ello que el objetivo fue evaluar la capacidad de retención de suelo de cinco especies de plantas nativas (1 gramínea, 2 herbáceas, 2 arbustivas), cultivadas en suelo barbechado y no barbechado. Además de generar conocimientos en cuanto a la propagación de especies de plantas nativas.

El coeficiente de escurrimiento de agua de lluvia fue menor con la presencia de las especies vegetales nativas en comparación con el testigo. Para la variable cantidad de agua escurrida se encontró que sí existen diferencias significativas entre el suelo barbechado y el no barbechado, con la presencia de especies de plantas nativas evaluadas. Con la variable suelo erosionado sólo hay diferencias significativas por evento de lluvia; sin embargo, la menor cantidad de suelo erosionado se presentó con la especie zacatón (*Muhlenbergia robusta*) con el que se erosionaron 4.51 t/ha y la mayor cantidad fue con *Dodonaea viscosa*, con 8.17 t/ha.

## ABSTRACT

The area of San Pedro Zacachimalpa, Puebla has a high rate of soil water erosion; factors such as vegetation cover and runoff rate intervene in this process. That is why the objective was to evaluate the soil retention capacity of five species of native plants (1 grass, 2 herbaceous, 2 shrubs), grown on fallow and non-fallow soil. In addition to generating knowledge regarding the propagation of native plant species.

The rainwater runoff coefficient was lower with the presence of native plant species compared to the control. For the variable amount of runoff water, it was found that there are significant differences between the fallow soil and the non-fallow soil, with the presence of native plant species evaluated. With the eroded soil variable there are only significant differences by rain event; However, the smallest amount of eroded soil occurred with the species zacatón (*Muhlenbergia robusta*) with which 4.51 t/ha was eroded and the largest amount was with *Dodonaea viscosa*, with 8.17 t/h.

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un importante recurso natural con gran influencia sobre el medio ambiente y la economía local, regional y mundial: de él dependen, en gran medida, la supervivencia y el bienestar de la población actual y las generaciones futuras (Gardi *et al.*, 2014).

El suelo que se pierde en un sitio, como consecuencia de los procesos de degradación como la erosión o la contaminación, podría recuperarse de manera natural, pero ello se llevaría cientos o incluso miles de años. Por lo tanto, el suelo debe considerarse un recurso natural no renovable, ya que, desde la perspectiva de la esperanza de vida humana, cuando éste se pierde no se vuelve a recuperar (Gardi *et al.*, 2014).

La erosión del suelo es uno de los riesgos ambientales más importantes en México. A pesar de haber sido estudiado durante varias décadas, el conocimiento actual de este proceso es aún escaso y superficial (Cotler, 2011). El proceso de la erosión está estrechamente vinculado con el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, lo que acentúa los índices de pobreza y migración, disminución de la productividad del suelo e incrementa la frecuencia de eventos extremos como lluvias torrenciales, abandono de tierras por efectos de la sequía y desertificación (Bolaños *et al.*, 2016).

El suelo influye considerablemente sobre el medio en el que se ubica y repercute en las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que se asientan en ese territorio, quienes ejercen una presión sobre el recurso suelo y generan afectación o deterioro de éste (Gardi *et al.*, 2014).

Unas de las formas para evitar la degradación y erosión de los suelos son la conservación, restitución o aumento de la cubierta vegetal. La vegetación tiene una función decisiva en la generación, protección y conservación del suelo, permitiendo la fijación del suelo, así como el descenso de la evaporación de la superficie del suelo (Belmonte *et al.*, 1999).

Son escasos los estudios donde se analiza la forma en que los diferentes estratos vegetales influyen en el proceso de erosión, además, suelen ser análisis de un solo estrato ya sea el herbáceo, arbustivo o arbóreo (Molgora, 2013).

En los sistemas ecológicos con cobertura vegetal se mitiga la erosión, esto se debe a que las partes aéreas de los estratos vegetales amortiguan la energía del impacto de las gotas de lluvia, aportan hojarasca, ramas y demás materia orgánica, proveen rugosidad a la superficie del suelo, de tal forma que reducen la velocidad de la escorrentía superficial (Molgora, 2013).

Por otro lado, las raíces de cualquiera de los estratos vegetales incrementan la capacidad de infiltración del agua hacia el subsuelo, reducen el volumen de escurrimiento superficial y actúan como estructuras de anclaje del suelo, evitando movimientos de masa o deslizamientos más severos (Molgora, 2013).

En el presente estudio, se analizan los efectos que cinco especies nativas, herbáceas y arbustivas, y su capacidad de favorecer la disminución de la erosión del suelo.

.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Importancia del suelo**

El suelo es un recurso natural considerado finito y no renovable que aporta servicios ecosistémicos, por ejemplo, los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc., que en su reciclamiento pasan de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta. En el aspecto agronómico, el suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad humana mundial (Burbano, 2016).

El suelo, como cuerpo natural, se distribuye como un continuo en el paisaje, tomando en cuenta las condiciones ambientales del sitio, el drenaje, la historia geomorfológica y el uso de la tierra; mostrándose como suelos no uniformes que presentan una gran variación en el paisaje.

La evolución del suelo es constante, aunque sus variaciones son detectables de cientos a miles de años, pues se estima que una capa de un centímetro de suelo puede ser formado entre 200 y 400 años, periodos largos que hace ver al suelo como un recurso natural no renovable (Cotler *et al.*, 2007).

La función más conocida del suelo es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas. De ahí que la degradación del suelo puede ser considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos y una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible de los terrenos agrícolas (Cotler *et al.*, 2007).

La importancia de los suelos para el sostén de la vida humana ha sido reconocida durante el último medio siglo con la aparición de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y de decenas de otras instituciones internacionales y nacionales, que año tras año alertan sobre la degradación y sus repercusiones en el mantenimiento de la biodiversidad, la mitigación de la pobreza y la seguridad alimentaria (Cotler *et al.*, 2007).

La degradación de los suelos se da mediante la acción conjunta de factores naturales y antropogénicos; el relieve, la lluvia, la eliminación de la cobertura

vegetal, los cambios en el uso de suelo, los altos niveles de marginación de la población (Pacheco, 2008).

Se dice que el propósito de tener un suelo ideal es para el crecimiento radical, que se logra mediante los sistemas de labranza; pero se ha demostrado que las condiciones ideales no necesariamente conllevan a una proliferación máxima de raíces (Osuna *et al.*, 2006).

La pérdida de suelo por efecto del agua o el viento se reconoce acentuada por la intervención del hombre mediante la deforestación, las malas prácticas agrícolas, el sobrepastoreo o la remoción directa del suelo por construcción. Menos capa superior de suelo se traduce en menos alimentos, mayor pobreza y más emisiones de carbono estable hacia la atmósfera (Gardi *et al.*, 2014).

Un informe sobre el estado de los suelos del mundo, realizado por un equipo conformado por 200 científicos del suelo de 60 países, pone de manifiesto que, si bien en algunas regiones hay buenas señales acerca de los suelos, la mayor parte de este recurso se halla al límite o en mala o muy mala situación. El documento expresa que las amenazas más fuertes para la función del suelo son la erosión, la compactación, sellado y anegamiento, la acidificación y salinización, la contaminación, el desequilibrio de nutrientes -por exceso y por deficiencia-, la pérdida del carbono orgánico del suelo que se asocia a la producción de gases de efecto invernadero y, finalmente, la pérdida de la biodiversidad. Tan grave como lo anterior, subrayan los expertos, es que el estado de los suelos va a empeorar si no se toman unas acciones concertadas entre las naciones, la sociedad civil y las organizaciones internacionales (Burbano, 2016).

La ausencia de estímulos para la investigación científica en materia de degradación y conservación de suelos lleva a mantener un conocimiento general y poco preciso de las causas y consecuencias de este proceso en México, lo cual a su vez se refleja en el diseño de acciones de conservación poco eficiente. Por esto es vigente impulsar a nivel nacional, metodologías que permitan profundizar el conocimiento sobre el estado de la degradación de los suelos en México, lo cual permitiría una

planificación y ejecución coherente de los planes de conservación de este recurso (Cotler *et al.*, 2007).

El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios para la supervivencia. Sin embargo, en muchas partes del mundo, el suelo ha quedado tan dañado por un manejo abusivo y erróneo que nunca más podrá producir bienes (Delgado, 2017).

Los suelos cumplen con funciones vitales para el mantenimiento de los ecosistemas y el sostén de la vida humana. Desde el soporte y sustento de cultivos y vegetación natural, al filtrado y retención de agua, la captura de carbono, que de otro modo aumentaría los gases con efecto invernadero y el sostén de gran número de microorganismos, entre otros aspectos. Sin embargo, estas funciones son poco reconocidas por la sociedad, lo que ha derivado en su descuido, abandono y por ende, deterioro (Cotler *et al.*, 2007).

El suelo, el medio ambiente y la productividad se benefician cuando el suelo se utiliza de manera sustentable. Esto significa que se le puede aprovechar por un largo tiempo, sin interrupción y sin debilitarlo, o sin que pierda potencial productivo y calidad. De esta manera será capaz de satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Geissert *et al.*, 2013).

La FAO afirma que los suelos proveen servicios ecosistémicos que permiten la vida sobre la superficie terrestre. Entre sus funciones precisa: el suministro de alimento, fibra y combustible, retención de C, purificación de agua y reducción de contaminantes que llegan a él, regulación del clima, ciclo de nutrientes, hábitat para organismos, regulación de inundaciones, fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos, base para las infraestructuras humanas, suministro de materiales de construcción y herencia cultural. Normalmente, estas funciones se grafican como elementos separados a pesar de estar íntimamente ligadas, entrelazadas y superar la visión de “servicios” que le asigna la visión antropocéntrica y ser bienes fundamentales para la sobrevivencia de la tierra viva y de nosotros como parte de ella (Sarandón, 2020).

Una de las características importante en los suelos y que depende del porcentaje de materia orgánica y las arcillas, es la capacidad de intercambio catiónico. Un suelo con alto contenido de arcillas y un alto porcentaje de materia orgánica puede retener más cationes intercambiables, lo cual es beneficio para la vegetación presente y para la misma coherencia del suelo (García, 2004). El intercambio catiónico es fundamental para el establecimiento y desarrollo de coberturas vegetales, las cuales, a su vez, proporcionan una mayor estabilidad del suelo a nivel superficial y profundo (García, 2004).

## **2.2. Erosión del suelo**

La erosión del suelo se define en términos generales como la eliminación acelerada de la capa superior del suelo de la superficie de la tierra por la acción del agua, el viento o la labranza. El proceso de la erosión está estrechamente vinculado con la desertificación y el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, lo que acentúa los índices de pobreza y migración, disminución de la productividad del suelo e incrementa la frecuencia de eventos extremos como lluvias torrenciales, abandono de tierras por efectos de la sequía y desertificación (Bolaños *et al.*, 2016).

En México, los principales tipos de degradación del suelo son: erosión hídrica (37%), erosión eólica (14.9%) y degradación química; en tanto que el 36% de la superficie se encuentra sin algún tipo de degradación. De acuerdo con el nivel de degradación el 30.9% es moderada, 19.6% ligera, 12.6% severa y 0.9 extrema (SEMARNAT, 2002).

Es posible que el cambio climático favorezca algunos procesos de degradación como la desertificación, con drásticas consecuencias para las funciones del suelo: sequías más frecuentes e intensas harán que los mecanismos de retención de agua del suelo colapsen, llevando a la erosión y en ocasiones a la desertificación (Gardi *et al.*, 2014).

La erosión hídrica es el principal factor inducido por actividades humanas de degradación del suelo, estimando una superficie total de tierras afectadas de 1094 millones de hectáreas (Mha), de las cuales 751 Mha están afectadas gravemente;

por erosión eólica 549 Mha, de estas 296 Mha están gravemente afectadas. En menor medida los suelos han sido afectados por degradación química (239 Mha) y física (83 Mha) (Bolaños *et al.*, 2016).

La erosión acelerada del suelo, agravada por las perturbaciones antropogénicas, es un proceso destructivo, ya que agota la fertilidad y degrada la estructura del suelo, reduce la profundidad efectiva de enraizamiento, destruyendo el más básico de todos los recursos naturales y agrava la desertificación (Bolaños *et al.*, 2016).

### **2.2.1. Erosión hídrica**

La erosión hídrica es el proceso por el cual se fraccionan y arrastran las partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. Cuando la gota impacta directamente al suelo, la fuerza del impacto fracciona los agregados y los hace propensos a arrastre por la acción de los flujos superficiales de agua (escorrentía) y a la vez causa daño en la estructura superficial del perfil del suelo disminuyendo su capacidad de aportar nutrientes y disminuir el desarrollo de las plantas (Delgado, 2017).

Habitualmente nos referimos a la erosión como un fenómeno negativo, derivado de la acción del hombre. Sin embargo, se olvida frecuentemente que la erosión es un proceso natural controlado por la gravedad, a través del cual los relieves e irregularidades de la corteza terrestre se equilibran (García, 2004).

Los principales factores que controlan la erosión hídrica son la precipitación, la cobertura vegetal, la topografía y las propiedades del suelo. Los efectos interactivos de estos factores determinan la magnitud y la tasa de erosión del suelo (Camargo *et al.*, 2017).

Así, mientras más larga e inclinada es la pendiente, el suelo será más afectado por la erosión y, por otra parte, cuanto mayor sea la capacidad de transporte del escurrimiento bajo una intensa lluvia, ello resultará en una mayor tasa de pérdida de suelo por la erosión (Camargo *et al.*, 2017).

De los factores que más afectan la erosión del suelo, el más citado es la lluvia. El impacto de las gotas provoca una ruptura de los agregados y la reordenación de las partículas, lo que da lugar a la formación de una capa con porosidad y permeabilidad reducida llamada costra. El efecto prolongado de las gotas sobre el suelo produce una capa más gruesa, con mayor impermeabilidad y con mayor capacidad de escorrentía, lo cual incrementa la erosión y exposición del suelo (Cotler *et al.*, 2007).

Tanto los modelos teóricos como los trabajos experimentales reconocen la influencia de diversos factores sobre el desencadenamiento de la erosión hídrica. Estos son principalmente la agresividad de las precipitaciones o erosividad, la resistencia del suelo a la desagregación o erosionabilidad, la forma del relieve, el uso del suelo y las características de la vegetación (García, 2004).

Las propiedades de la precipitación que afectan la erosividad total son: cantidad, intensidad y distribución de la lluvia, velocidad terminal y tamaño de la gota; pero los datos correspondientes para su estimación precisa no siempre están disponibles en todas las regiones (Camargo *et al.*, 2017).

### **2.2.3. Erosión eólica**

El poder erosivo del viento, como el del agua, aumenta de forma exponencial con la velocidad, pero, a diferencia del agua, el viento no es afectado por la fuerza de la gravedad. Un aspecto importante es la distancia que el viento puede recorrer sin obstáculos, ya que ello le permite ganar velocidad y aumentar su potencia erosiva. El movimiento del aire debe alcanzar una determinada velocidad, es decir, convertirse en «viento eficaz» (con la velocidad suficiente para generar un movimiento visible de partículas a nivel del suelo) para poder desalojar y transportar partículas (FAO, 2023).

Los vientos con velocidades de menos de 12 a 19 km/h a 1 m por encima del suelo casi nunca tienen al nivel del suelo la energía suficiente para desalojar y poner en movimiento partículas del tamaño de la arena. El desplazamiento de los suelos muy erosionables comienza normalmente cuando el viento alcanza una velocidad de

avance de 25 a 30 km/h a una altura de 30 cm por encima de la superficie del suelo (FAO, 2023).

La erosión eólica, en comparación con la erosión hídrica, es uno de los principales problemas de la degradación del suelo en zonas áridas y semiáridas (Eltaif y Gharaibeh, 2011).

### **2.3. Coeficiente de escurrimiento**

El coeficiente de escurrimiento  $C$ , es la variable que presenta mayor incertidumbre en su determinación, y representa una relación adimensional entre la lámina de escorrentía superficial generada por una determinada cuenca y la lámina de la precipitación. El coeficiente de escorrentía varía con la pendiente, condiciones de la superficie y de la cubierta vegetal y el tipo de suelo hidrológico (Chiarito, 2018).

Las superficies con vegetación para interceptar la escorrentía superficial y las que permiten la infiltración de las precipitaciones tienen coeficientes de escorrentía más bajas (cercanas a 0) (Chiarito, 2018).

Los suelos que tienen un alto contenido de arcilla no permiten mucha infiltración y por lo tanto tienen coeficientes relativamente altos de escurrimiento, mientras que los suelos con alto contenido de arena tienen mayores tasas de infiltración y bajos coeficientes de escorrentía (Chiarito, 2018).

El coeficiente de escorrentía ( $c$ ) representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo. Su valor depende de las características concretas del terreno que determinan la infiltración del agua en el suelo (Ibáñez, 2020).

### **2.4. Importancia de la cobertura vegetal**

La cobertura influye en los procesos erosivos aumentando la estabilidad de los agregados del suelo, lo protege del impacto de las gotas de lluvia, incrementa la capacidad de infiltración y frena la escorrentía. La vegetación mantiene las

características del suelo homogéneas debido a la materia orgánica aportada por las plantas (García, 2004).

El deterioro de los ecosistemas incluye la pérdida de la cubierta vegetal, ocasionando altos escurrimientos de agua y pérdida de suelo, principalmente. Una solución relativamente simple es a través de resiembras de pastizales, trasplantes de arbustivas, reforestación en áreas boscosas o remediación en áreas contaminadas, dependiendo del caso (Melgoza *et al.*, 2007).

Actualmente existe tecnología sobre el uso de especies introducidas para la recuperación de ecosistemas degradados, debido a que éstas se propagan fácilmente y crecen rápidamente, comparadas con especies nativas. Sin embargo, el uso de especies exóticas presenta algunas desventajas a largo plazo. Problemas como reemplazamiento de especies, pérdida de hospederos y hábitat para insectos y fauna, problemas de salud humana, altas tasas de extracción de agua son sólo algunos de los problemas actualmente detectados (Melgoza *et al.*, 2007).

Se ha observado que las plantas herbáceas pueden ser superiores a las plantas leñosas en términos de conservación del suelo. Se considera el uso de especies nativas como alternativa de manejo en taludes cercanos a ríos urbanos debido al valor ecológico, paisajístico, ornamental y geotécnico que implican. El uso de plantas para el control de la erosión es una práctica efectiva; sin embargo, las especies nativas son fundamentales por su valor ecológico y estético en los ecosistemas (Alvarado *et al.*, 2011).

## **2.5. Variedades locales: importancia en el diseño de agroecosistemas sustentables.**

Es importante mencionar que cada ecosistema y agroecosistema ha ido evolucionando y modificándose en el tiempo, a través de las interacciones e influencias que sus distintos componentes ejercieron sobre los demás. Estos componentes, de carácter tanto natural como cultural, en esa interacción, se han ido definiendo y modificando mutuamente. Este proceso de coevolución involucra a las variedades locales, y nos permite comprender que las mismas son parte de un

proceso que podríamos llamar de localización donde se gestan las imbricaciones ambientales y culturales mencionadas. En ese sentido, las variedades locales son el producto de un proceso co-evolutivo desarrollado en los agroecosistemas, donde han actuado la selección natural y la humana, y que involucra tanto a la tolerancia o resistencia a determinadas plagas o patógenos y/o condiciones ambientales, como a las técnicas de manejo o la elección por el gusto y sabores (Garat *et al*, 2009 citado por Sarandón, 2020).

La conservación, multiplicación y uso de las variedades locales en los sistemas productivos, posibilita un aumento de la biodiversidad presente en los mismos, permitiendo que ocurran las interacciones necesarias para optimizar distintos procesos ecológicos, que aportan estabilidad y capacidad de resiliencia a los agroecosistemas. Tales procesos incluyen: la regulación de plagas y enfermedades, polinización, descomposición de la materia orgánica y el ciclado de nutrientes, mantenimiento de la fertilidad de los suelos; el flujo de energía, control de la erosión y la regulación del ciclo del agua, entre otros. Entonces, el grado de diversidad genética presente en el agroecosistema (diversidad de especies, variabilidad genética e intraespecífica) que incorpore cada agricultor, toma especial relevancia, ya que junto a otras dimensiones de la biodiversidad, permite potenciar los procesos ecológicos mencionados y reducir el uso de insumos externos en los agroecosistemas (que son costosos, contaminantes y se enmarcan en una lógica distinta a la de la producción sustentable), así como disminuir el impacto ambiental sobre otros sistemas (Altieri, 1993; Fernández y Marasas, 2015; Sarandón *et al.*, 2016 citado por Sarandón, 2020).

## **2.6. Efectos de la vegetación sobre la erosión.**

Aunque la mayoría de los estudios experimentales y los que se basan en modelos reconocen la multiplicidad de efectos de la vegetación sobre la erosión, la necesidad de simplificación de los análisis acaba, sin embargo, reduciendo el papel de la vegetación a una función del valor de su cobertura. Un ejemplo de ello se produce al analizar a escala planetaria la relación entre erosión hídrica y precipitación anual

en condiciones de suelo y vegetación sin manejar. La erosión alcanza el valor máximo en zonas con 300 mm de precipitación. Cuando el volumen anual de lluvia es menor, la erosividad de la lluvia decrece también, pero cuando sobrepasa este umbral, el desarrollo de la vegetación producido por la mayor disponibilidad hídrica supone un freno al proceso erosivo. Esta simplificación ha permitido por otro lado una mayor operatividad en la experimentación (García, 2004).

Es importante mencionar que la cobertura vegetal juega un papel sumamente importante sobre la prevención de la erosión, debido a que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aumentando el contenido de materia orgánica, además de disminuir la fuerza de impacto de la gota de lluvia y la velocidad de escorrentía del agua, aumentando la infiltración del agua y la estabilidad de la estructura del suelo. Por lo tanto, la cubierta vegetal es uno de los indicadores biofísicos más importantes de la erosión del suelo, lo que permite la delineación de la distribución de la vegetación y el suelo basado en patrones de reflectancia característicos de la vegetación verde (Pacheco, 2008).

## **2.7. Efectos de la erosión sobre la vegetación**

La erosión influye sobre la vegetación directamente, a través del desplazamiento de las raíces y de la pérdida directa de plantas, propágulos y mantillo, o bien indirectamente, alterando la estructura del suelo o eliminando la parte más superficial del mismo. Es en este horizonte superficial del suelo donde se produce la germinación de las semillas y el establecimiento de las plántulas y donde reside gran parte de su capacidad para almacenar agua y nutrientes. Por tanto, desde un punto de vista ecológico, la erosión del suelo puede entenderse como un factor perturbador para la vegetación (García, 2004).

Se puede inferir, por tanto, que aquellas especies que no sean capaces de desarrollarse en estas condiciones no podrán colonizar estos suelos o bien, si ya estaban presentes en ellos, podrán ser desplazadas, de manera que la magnitud y la frecuencia de los eventos erosivos y el momento en que se produce determinarán qué especies pueden establecerse y resistir (García, 2004).

## **2.8. Relaciones vegetación-erosión.**

Se ha establecido que la vegetación influye sobre la erosión aumentando la estabilidad de los agregados del suelo y la propia coherencia del suelo, protegiéndolo del impacto de las gotas de agua, incrementando la capacidad de infiltración y frenando la escorrentía. Sin embargo, sólo en contadas ocasiones se han considerado los efectos que la erosión tiene sobre la vegetación. En este sentido, la erosión influye sobre la vegetación directamente, mediante el desarraigo de las plantas y la eliminación y redistribución de las semillas. Pero también influye de manera indirecta, pues los procesos de erosión alteran o eliminan la superficie del suelo, que es donde se produce el establecimiento de las plántulas y donde reside gran parte de la reserva de agua y nutrientes. Bajo ese prisma, la erosión hídrica puede verse como una fuerza ecológica capaz de modificar la composición de la vegetación y su patrón espacial y, por ello, las relaciones entre erosión y vegetación deberían considerarse un aspecto particular del conjunto más amplio de relaciones entre suelo y vegetación (García, 2004).

## **3. IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS NATIVAS.**

La restauración ecológica o cualquier acción que tenga que ver con alguno de los conceptos relacionados (mitigación, remediación, rehabilitación, etc.), se llevan a cabo para mejorar o recuperar zonas perturbadas, esto requiere conocimientos tanto de las condiciones fisicoquímicas de la zona afectada como de la fisiología de las especies que puedan sobrevivir en condiciones degradadas y mejorarlas.

Por razones de conservación de biodiversidad es obvio que se debe buscar o preferir la utilización de especies nativas, particularmente de la propia región en la que se implementen los trabajos de restauración (INECC, 2022).

Cuando se reforesta con especies exóticas se tienen resueltos los problemas de domesticación y disponibilidad de propágulos, sin embargo, los resultados obtenidos con éstas obligan a replantear la necesidad de domesticar y aprender a

propagar especies nativas, para lo cual es necesario realizar un inventario de las especies que presenten las propiedades biológicas y ecológicas más adecuadas para cada clima condición ambiental del país (Vázquez, 2016).

Para hacer un uso exitoso de las especies nativas de cada región en programas de desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles, restauración ecológica y reforestación es indispensable profundizar nuestro conocimiento sobre la biología, la ecología, la propagación y el manejo de las especies disponibles, a fin de posibilitar la domesticación de dichas especies y desarrollar técnicas eficientes de propagación, e incluso llegar a mejorar por selección sexual, clonal o ingeniería genética algunas de sus características más valiosas. Es importante también tomar en consideración la utilidad de las especies para la población local, ya que ello redundará en una mejor conservación de las zonas restauradas (Vázquez, 2016).

### **3.1. Estado actual de las plantas nativas en el estado de Puebla.**

Durante las últimas décadas, grandes esfuerzos se han dedicado al conocimiento de la flora del estado de Puebla. Al igual que otros estados del país, Puebla no se ha visto libre de los efectos combinados de la destrucción o fragmentación de los hábitats naturales la contaminación ambiental, la incontrolada y mal manejada explotación de sus recursos naturales, la introducción de especies exóticas a su flora nativa y muchos otros males de los tiempos modernos como el crecimiento poblacional o los diferentes programas gubernamentales de desarrollo económico los cuales, han tenido influencia en la diversidad florística que se ha logrado inventariar en este estado (Rodríguez *et al.*, 2014).

Hoy en día se tienen cifras contundentes que revela la magnitud de la diversidad florística en el estado y que permitirá proponer acciones concretas para su conservación, estudio, investigación y aprovechamiento sustentable. A pesar de que la flora no se termina de estudiar, se tienen cifras reales que permitirá un mejor manejo, aprovechamiento y aprecio por este recurso tan valioso (Rodríguez *et al.*, 2014).

La gran heterogeneidad ambiental genera una gran variedad de climas y tipos de vegetación que han ocasionado que el estado de Puebla se encuentre una gran diversidad vegetal (Rodríguez *et al.*, 2014).

### **3.2. Riqueza florística del estado de Puebla.**

Los esfuerzos por conocer mejor la riqueza florística de Puebla han resultado de la conformación de una lista que refleja la notable diversidad vegetal con la que cuenta el estado. Su flora registra miembros de todas las categorías taxonómicas de plantas vasculares que se han registrado en el país, aunque predominan como siempre las plantas con flores (Rodríguez *et al.*, 2014).

Villaseñor (2003) reportó para Puebla un número de 3,200 especies de plantas con flores; posteriormente Rodríguez (2011) en el libro sobre biodiversidad de Puebla, publicado por la CONABIO, reportó 4,500 especies (Rodríguez *et al.*, 2014).

En investigaciones recientes han mostrado la existencia de un millar de especies que no habían sido reportadas para Puebla lo que incrementa tan solo para las plantas con flores en poco más del 20% el número de especies conocidas, llevando la cifra hasta 5, 415 especies. Estas cifras colocan a Puebla en el séptimo lugar de entre los 10 estados con mayor riqueza florística del país (Rodríguez *et al.*, 2014).

### **3.3. Clasificación por tipos de plantas**

#### **Arvenses**

En el sentido agronómico, representan plantas sin valor económico o que crecen fuera de lugar interfiriendo en la actividad de los cultivos, afectando su capacidad de producción y desarrollo normal por la competencia de agua, luz, nutrientes y espacio físico, o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo (Blanco y Leyva, 2007).

Las arvenses parecen jugar dentro del agroecosistema, un papel mucho más importante de lo que hasta hoy se conoce. Un ejemplo demostrado es que muchas

de ellas se desarrollan en áreas sometidas a barbecho y sirven para prevenir la erosión del suelo y reciclar sus nutrientes y minerales (Blanco y Leyva, 2007).

### **Plantas ruderales**

Las plantas ruderales son especies sinantrópicas que prosperan en sitios perturbados asociados con asentamientos humanos (Martínez *et al.*, 2015).

Las plantas ruderales, según esta clasificación, tienen pequeño tamaño, escasa ramificación, ciclos de vida cortos, crecimiento rápido y fuerte potencial reproductivo. Es por lo que su distribución geográfica suele ser amplia. Se trata de plantas anuales o bi-anuales (Martínez *et al.*, 2015).

### **Especie pionera**

Es una especie rústica o resistente que es una de las primeras en colonizar ambientes desolados (capas de lava, nuevas islas, etc.) o que eran originalmente biodiversos pero que han sido alterados, por ejemplo, por incendios o volcanes. Algunos líquenes crecen sobre rocas carentes de suelo, así muchos son las primeras formas de vida en un lugar; crean un hábitat adecuado para plantas al fragmentar la roca y crear suelo. Estas incluyen raíces largas, nódulos con bacterias fijadoras de nitrógeno y hojas que aprovechan la transpiración (CONABIO, 2023).

### **Especies invasoras.**

Se desarrollan fuera de su área de distribución natural, en hábitats que no le son propios o con una abundancia inusual, produciendo alteraciones en la riqueza y diversidad de los ecosistemas. Cuando son transportados e introducidos por el ser humano en lugares fuera de su área de distribución natural, consiguiendo establecerse y dispersarse en la nueva región se les denomina especies exóticas invasoras resultando normalmente muy dañinas (CONABIO, 2023).

Si bien se asume que la especie invasora es una introducida que prospera sin ayuda directa del ser humano y amenaza los hábitats naturales o seminaturales.

Sin embargo, muchas de las especies que han sido introducidas, se han establecido, mantienen poblaciones viables, han llegado a ser parte constitutiva de

los ecosistemas a donde se han llevado y desplazan las especies nativas, convirtiéndose en especies invasoras.

### **Especie introducida**

Es una especie no nativa del lugar o del área en que se la considera introducida. Se trata de ejemplares que han sido transportados por los seres humanos, mecanismo denominado antropocoria, ya sea accidental o deliberadamente, a una nueva ubicación donde la especie puede o no llegar a establecerse (CONABIO, 2023).

Las especies invasoras provocan desequilibrios ecológicos como: cambios en la composición de las especies, desplazamiento de especies nativas, pérdida de biodiversidad y/o la posible transmisión de enfermedades (CONABIO, 2023)

### **3.4. Selección de las plantas nativas.**

#### **Importancia ecológica de las Asteráceas.**

Numerosas Asteráceas tienen un papel destacado en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas; en efecto, vastas extensiones de vegetación natural y seminatural están dominadas por Asteráceas, o en su caso acompañan las especies principales en las asociaciones dominantes, configurando con frecuencia la fisonomía de los ambientes naturales, lo que les confiere un valor ecológico y ambiental inapreciable. En muchos casos alcanzan importantes valores de cobertura, y cumplen funciones fundamentales en la retención y estabilización del suelo, en el incremento de su contenido de materia orgánica, en la producción de oxígeno, la depuración de la atmósfera, etc (Del Vitto y Petenatti, 2009).

Actualmente un gran número de Asteráceas son ruderales o se comportan como malezas, y por ello abundan en áreas disturbadas o en cultivos agrícolas en todo el mundo, pero a su vez existe un significativo número de especies (particularmente en regiones montañosas, tanto tropicales como subtropicales y hasta templadas) que son endemismos restringidos, y que a causa de dramáticas modificaciones en el hábitat (particularmente debidas a la acción antrópica) se ven amenazadas o en peligro de extinción (Del Vitto y Petenatti, 2009).

Así, en la Lista Roja de plantas compilada por la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2009) se hallan representados 147 géneros de Asteráceas, que abarcan 475 especies con diversas calificaciones de amenaza de extinción. Pese a que se puede considerar aún muy incompleto el conocimiento de la flora y el estado de conservación de las plantas de vastas regiones del globo, las cifras mencionadas son llamativas, puesto que prácticamente el 2% de las especies y poco más del 9% de los géneros de la Familia Asteráceas conocidas en todo el mundo se encuentran incluidas en estos registros (Del Vitto y Petenatti, 2009).

#### **Aspectos biológicos de la Jarilla (*Dodonaea viscosa*).**

Es una especie perteneciente a la familia Sapindaceae, generalmente en forma de arbusto o árbol pequeño perennifolio que puede alcanzar hasta cinco metros de altura; presenta hojas simples, brillantes, glanduloso-resinosas y olorosas; ápice comúnmente agudo, de 4 a 15 cm de largo, con inflorescencias axilares y terminales en la punta de las ramillas (Acosta *et al.*, 2014).

Existen varios usos reportados para la especie. En zonas del Estado de México, identificó siete: agrícola, medicinal, doméstica, ceremonial, ambiental, ornamental, y ecológico. Se considera a *Dodonaea viscosa* como una planta apta para acciones de restauración y formadora de suelo por tratarse de una planta perenne, con alrededor de 800 gramos al año en zonas de acumulación (Acosta *et al.*, 2014).

#### **Aspectos biológicos de Zacatón (*Muhlenbergia robusta*).**

Planta perenne, catalogado como nativa de México, se desarrolla adecuadamente en suelos someros, con tallos subterráneos (rizomas) endurecidos lo cual lo hace ideal para zonas con escasez de agua, entre sus usos se cataloga como planta con potencial forrajero (CONABIO, 2022).

#### **Aspectos biológicos de Dalia (*Dahlia excelsa*).**

A diferencia de *D. imperialis*, *D. excelsa* produce varios tallos, que alcanzan alturas que oscilan entre los 1.8 y 3.0 m. cada rama floral produce entre 14 y 18 capítulos, los cuales pueden ser sencillos, intermedios o dobles, llegando frecuentemente a

producir los tres tipos de capítulos en la misma planta. Este tipo de planta presentan raíces tuberosas que cada año aumentan su tamaño, aunque también presentan raíces fibrosas (Mejía y Espinosa, 2003).

**Aspectos biológicos de Cosmos (*Cosmos bipinnatus*).**

Una hierba anual que a veces puede llegar a medir 2 m de altura; esta planta atractiva es muy familiar en los campos y a lo largo de las carreteras a finales de año. Nativa del sur de Estados Unidos hasta el centro de México se cultiva comúnmente en diversas formas de color en muchas partes del mundo (Coombes y Rodríguez, 2014).

**Aspectos biológicos de Amorcillo (*Dyssodia tagetiflora*).**

Es una planta arvense y ruderal, común en sitios perturbados y abiertos, sobre todo en regiones derivadas de la selva baja caducifolia de bosque mesófilo y de encino. Esta planta atractiva prospera en sitios perturbados, pero no barbechados. Su Estatus migratorio en México es Nativa y endémica. (CONABIO, 2022).

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

La región de San Pedro Zacachimalpa, Puebla es un área que presenta una alta degradación de sus recursos naturales, especialmente el recurso suelo, el cual se ha visto cada año con un mayor porcentaje de pérdida, causado por la erosión hídrica debido a la poca cobertura vegetal que existe en la zona por efectos de pastoreo. Es probable que esa erosión del suelo se haya dado por las altas precipitaciones en un día: 75.5 mm, el 14 de agosto de 1969; 90 mm, el 13 de julio de 1992 y 69 mm del 10 de septiembre de 1998 (SMN, 2023).

Se ha observado que, en áreas con la presencia de plantas nativas, la erosión no es tan elevada; asimismo, el uso de plantas exóticas, en los programas de reforestación, tienen poco éxito por presentarse un periodo seco (sin lluvias) entre los meses de noviembre a mayo.

Por ello, se buscan estrategias y métodos para el establecimiento de plantas nativas con potencialidades de protección del suelo, retención de humedad y disminución de las pérdidas por erosión hídrica, para ser utilizadas en los programas de reforestación, considerando que para la rehabilitación del suelo no bastaría con introducir plantas para que después se convierta el espacio en un arbolado, sino considerar especies arbustivas y de sotobosque, bajo el marco de la sucesión vegetal, las cuales pueden contribuir no sólo en la retención del suelo, amortiguando el impacto de las gotas de lluvia, sino también contribuyendo en el fomento y la conservación de la biodiversidad de la zona.

## 5. OBJETIVOS

- Evaluar la capacidad de retención de suelo de cinco especies de plantas nativas (1 gramínea, 2 herbáceas, 2 arbustivas), cultivadas en suelo barbechado y no barbechado, en la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla.
- Identificar métodos de propagación apropiados de cada una de las cinco especies nativas.
- Determinar el ciclo biológico de cada una de las cinco especies de plantas nativas sembradas, a lo largo de un año en suelo en San Pedro Zacachimalpa, Puebla.
- Evaluar la capacidad de retención de agua escurrida de las cinco especies nativas ante los eventos de lluvia.

## 6. HIPÓTESIS

- La especie que ejerza un mayor control de la erosión del suelo, será la que controle los escurrimientos del agua de lluvia, con el nivel de cobertura sobre la superficie y las condiciones del suelo presente.
- La especie *Cosmos bipinnatus* germinará en un menor periodo sin necesidad de un método pregerminativo.
- Las especies herbáceas tendrán un ciclo más corto que las arbustivas.
- De las cinco especies nativas, la de zacatón (*Muhlenbergia robusta*) es la que permitirá menor escurrimiento de agua, por la cobertura que produce sobre el suelo y su sistema radicular fasciculado.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. Área de estudio.

El área de estudio se localiza en la parte sur del municipio de Puebla, en las coordenadas 18°93'71" N, -98°15'71"98 O, con una elevación de 2,096 msnm en una zona de ladera. El subsuelo contiene rocas principalmente de tipo ígneas que incluyen basalto, y otros volcanoclásticos. Por lo tanto, los principales tipos de suelo que están presentes son Feozem, aunque en áreas aledañas también se presentan el Regosol y Cambisol (CIEMAD, 2011).

La granulometría del suelo es de tipo franco arenoso, sin determinar qué tipo de horizonte está presente, por cuanto tiene características de un horizonte C, por ser un suelo claro con presencia de piedras de hasta 7 cm de diámetro; sin embargo existen ciertos indicios de tierra oscura como de horizonte A; pero de horizonte B, es imperceptible. Si se comparan la textura del suelo de horizontes bien definidos, los valores relativos de cantidades de arena, arcilla y limo siguen mostrando como un suelo franco arenoso (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Resultados del análisis textural del suelo del área del experimento.**

| Horizonte                         | % arcilla | % limo | % arena | Textura        |
|-----------------------------------|-----------|--------|---------|----------------|
| <b>A</b>                          | 13.6      | 16.7   | 69.7    | Franco arenosa |
| <b>B</b>                          | 5.8       | 26.4   | 67.8    | Franco arenosa |
| <b>C</b>                          | 3.8       | 10.5   | 86.2    | Areno francosa |
| <b>Suelo del sitio de estudio</b> | 19.3      | 16.0   | 64.7    | Franco arenosa |

El horizonte C del Cuadro 1, es tipo tepetate; en tanto el horizonte del sitio de estudio, puede ser un horizonte C con piedras menores de 5 cm, clásico de un suelo de Feozem.



**Figura 1.** Área de estudio de la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla.

El clima en el sitio de estudio se caracteriza por una precipitación media anual de 741 mm y una temperatura media anual de 15 °C, con un periodo de lluvias en verano de mayo a octubre, y un periodo seco de noviembre a abril (Estación meteorológica Africam Safari, 2022).

En el área donde se desarrolló el experimento se colocó un pluviógrafo el cual ayudó a determinar la precipitación del lugar.

## **7.2. Diseño experimental.**

El experimento tiene dos factores, planta nativa y suelo con manejo (barbechado y no barbechado). Se utilizaron cinco plantas nativas más el testigo (uno por cada condición de manejo) por lo que se obtuvo un total de 12 tratamientos (Cuadro 2), cada uno con tres repeticiones, lo que dio un total de 36 unidades experimentales distribuidas completamente al azar dentro del área de estudio, así como se muestra en el cuadro (cuadro 2).

El experimento se desarrolló en camas de 2 m de largo x 1 m de ancho, encajonadas con madera en tres de sus lados y en el cuarto lado de la parte inferior se colocó un

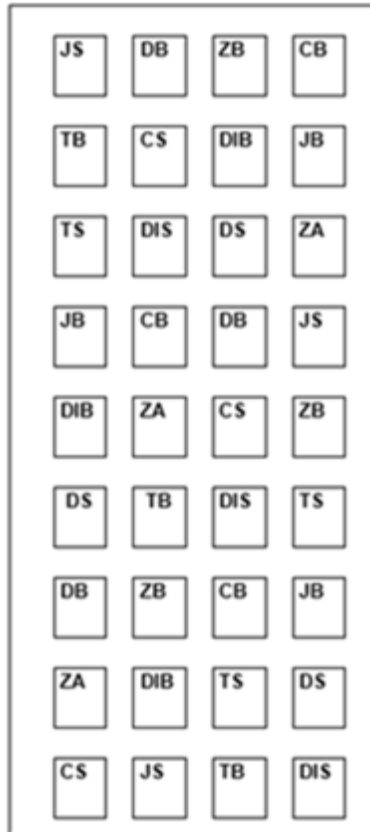
plástico para invernadero con penta capa, el cual sirvió para conducir y recolectar el suelo erosionado, así como el agua escurrida por cada evento de lluvia, el plástico estuvo conectado a un contenedor de 20 litros.

Las especies utilizadas con la descripción de tratamientos se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Descripción de tratamientos.**

| <b>SUELO</b> | <b>ESPECIES VEGETALES</b>             |
|--------------|---------------------------------------|
| Barbechado   | <i>Dahlia excelsa</i> (dalia)         |
| Sin barbecho | <i>Cosmos bipinnatus</i> (cosmos)     |
|              | <i>Dodonaea viscosa</i> (jarilla)     |
|              | <i>Muhlenbergia robusta</i> (zacatón) |
|              | <i>Dyssodia tagetiflora</i> (disodia) |
|              | Testigo (sin planta)                  |

En el Cuadro 2, cada tratamiento es la combinación del factor suelo y la especie vegetal, de modo que se completaron 12 tratamientos en total, quedando distribuidos como se muestra en la figura 2, identificados mediante las letras iniciales del nombre común de la planta y la letra inicial de barbecho o sin barbecho considerando el concepto de laboreo o remoción del suelo. La separación entre unidades experimentales (cajones) fue de 1 m, quedando un área de estudio de 8 m de ancho por 28 m de largo.



**Figura 2.** Distribucion de las unidades experimentales con tres repeticiones en el área de estudio.

### 7.3. Instalación del experimento.

El experimento se instaló en terrenos de Ecocampus de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en una zona de ladera teniendo un pendiente promedio del lugar de 12.8%, flanqueado por cárcavas a los lados de 6 y 8 m de profundidad.



**Figura 3.** Área para el establecimiento del experimento

#### **7.4. Trazado del lugar para la instalación de las unidades experimentales**

Cada unidad experimental tuvo 1 m de ancho por 2 m de largo, dejando un pasillo entre camas de 1 m (Figura 4).



**Figura 4.** Trazado del lugar en instalaciones de Ecocampus BUAP

### **7.5. Selección del material para la elaboración de las unidades experimentales.**

El material que se utilizó para realizar el cajón, para delimitar la unidad experimental fue madera, la cual tiene las medidas de largo y ancho antes mencionadas en el apartado de área de estudio (Figura 5). El ancho de cada tabla fue de 10 cm considerando el salpicado que ocasiona una gota de lluvia.



**Figura 5.** Material utilizado para la elaboración de los cajones.

### **7.6. Instalación de las unidades experimentales**

Se colocaron tres lados con madera enterrados a 2 cm, el cuarto lado que se ubica en la parte inferior, se le colocó un plástico blanco para invernadero penta capa con cierta pendiente para que facilite la escorrentía de agua y suelo, el plástico se conectó a un contenedor de 20 litros, colocado en el parte inferior enterrado en una de las esquinas del cajón a manera que la lluvia y suelo se depositaran ahí.



**Figura 6.** Elaboración de cajones de madera.



**Figura 7, 8, 9.** Instalación de cajones.



**Figura 10.** Colocación del plástico.

## 7.7. Selección de especies nativas a utilizar

Hoy en día, la conservación de especies nativas adquiere cada día más relevancia como parte de una estrategia para conservar la diversidad biológica existente en el mundo. Las actividades agrícolas y forestales, entre otros factores están expandiendo aceleradamente sus fronteras, generando degradación de ecosistemas naturales.

Aunado a esto la propagación de plantas nativas se ve limitada por diversos factores como lo son la poca viabilidad de las semillas, se requieren ciertos requerimientos para su propagación como lo son tipo de suelo, luminosidad, temperatura, así como una temporalidad para coleccionar el material de propagación.

Tomando en cuenta los factores que limitan la propagación de las especies nativas y a partir de recorridos realizados en la zona de San Pedro Zacachimalpa, que empezaron en el mes de Agosto del 2023 y con base en la revisión de literatura sobre la flora nativa del estado de Puebla, se seleccionaron las siguientes especies para el desarrollo del experimento: cosmos (*Cosmos bipinnatus*), amorcillo (*Dyssodia tagetiflora*), jarilla (*Dodonaea viscosa*), dalia (*Dahlia excelsa*), las cuales cumplen un papel importante dentro del ecosistema ya que se utilizan como alimento de insectos, atrayentes para diversos polinizadores además de que al estar presentes en la zona buscamos que sean plantas potencialmente activas para la retención de suelo erosionado por el efecto de la lluvia.

A continuación, se presenta las fotos de las especies de plantas nativas que se utilizaron para el desarrollo del experimento que corresponden a la Figura 2 a la 6.



**Figura 11.** *Dyssodia tagetiflora*



**Figura 12.** *Dodonaea viscosa*



**Figura 13.** *Dahlia excelsa*



**Figura 14.** *Muhlenbergia robusta*



**Figura 15.** *Cosmos bipinnatus*

## 7.8. Propagación de especies.

La producción de plántulas de especies nativas necesita requerimientos específicos que deben ser considerados para lograr un manejo adecuado en el vivero y así obtener el mayor número de individuos. Además de que la propagación de especies de plantas nativas se ve limitado por diversos aspectos, como la poca información

sobre técnicas para su propagación, poca viabilidad de las semillas y poca disponibilidad del material para su propagación, esto por mencionar solo algunos aspectos.

A continuación, en los cuadros 3 y 4 se describen algunas características de las técnicas de propagación de las cinco especies nativas que se utilizaron en este tema de investigación.

**Cuadro 3. Información sobre la propagación sexual de las especies nativas de San Pedro Zacachimalpa, Puebla seleccionados para la instalación del experimento.**

| Espece                      | Viabilidad  | Abundancia   | Observaciones  |
|-----------------------------|---|--|--|
| <i>Dyssodia tagetiflora</i> | Alta (CONAFOR, 2023)  | Si en los meses de agosto a diciembre (CONAFOR, 2023)  | 98% de germinación cuando se aplica el tratamiento de agua caliente a 75 °C por 3 minutos; 94% cuando se aplica el tratamiento por 6 min; 86% cuando se sumergen en agua caliente a 93 °C por 3 minutos y 76% durante 6 minutos (CONAFOR, 2023). |
| <i>Dodonaea viscosa</i>     | Las semillas se pueden conservar hasta 4 años a temperatura ambiente (CONAFOR, 2022.) | La recolección se realiza en agosto, aunque se obtienen buenos resultados recolectando las semillas desde diciembre hasta abril. (CONAFOR, 2022) | La incubación a 25 °C permite obtener resultados del 80% de germinación (CONAFOR, 2022.) Se dispersa con el viento (CONABIO, 2023)   |
| <i>Dahlia excelsa</i>       | Nula (Mejía y Espinosa, 2003)   | Nula (Mejía y Espinosa, 2003)  | Sus capítulos no forman semillas (Mejía y Espinosa, 2003)  |
| <i>Muhlenbergia robusta</i> | Baja (CONAFOR, 2022)  | En invierno (CONAFOR, 2022)  | Florece de septiembre a octubre (CONAFOR, 2022)  |
| <i>Cosmos bipinnatus</i>    | Alta (CONABIO, 2023)  | En invierno (Mejía y Espinosa, 2003)   | Se propaga por semilla (CONABIO, 2023)   |

**Cuadro 4. Información sobre la propagación asexual de las especies nativas de San Pedro Zacachimalpa Puebla, seleccionados para la instalación del experimento.**

| Especie                     | Tubérculo   | Esqueje                                    | Hijuelo  | Estaca  |
|-----------------------------|---|--|--|---|
| <i>Dyssodia tagetiflora</i> |   | Puntas Jóvenes (CONAFOR, 2022)             |  |   |
| <i>Dodonaea viscosa</i>     |   | Puntas Jóvenes (CONAFOR, 2022)             |  | Estacas herbáceas de 15 cm de largo (CONAFOR, 2022) |
| <i>Dahlia excelsa</i>       | Raíz tuberosa por separación (Mejía y Espinosa, 2003) | Yemas adventicias (Mejía y Espinosa, 2003) |  | Estacas basales (Mejía y Espinosa, 2003)            |
| <i>Muhlenbergia robusta</i> |   |  | Propágulos obtenidos Por separación de la planta madre (CONAFOR, 2022) |   |
| <i>Cosmos bipinnatus</i>    | Sin información                                       |  |  |   |

Las semillas y esquejes fueron obtenidos directamente de plantas madre maduras establecidas en campo, de acuerdo con los tiempos en que estos estaban disponibles.

Las semillas y propágulos de las especies nativas fueron colectadas y secadas conforme a la metodología descrita por Gold *et al.*, (2004), dichos propágulos fueron colectados en la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla.

La evaluación de los métodos de propagación, tipo de sustrato y aclimatización de las cinco especies de plantas nativas, se realizó en el área de invernaderos de propagación de especies nativas del parque de conservación de fauna silvestre

Africam Safari, ubicado en las coordenadas 18°56'14" N, 98°08'12" O, a una altitud de 2,113 msnm.

### **7.9. Método de siembra.**

Para la vía sexual las semillas pasaron por un secado y una escarificación por medio de agua conforme a lo consultado en el cuadro 3, la siembra se realizó en charolas de 49 cavidades, utilizando un sustrato a base de turba y vermiculita en una relación 3:1 a una temperatura promedio durante el día de 38 °C y una cubierta plástica del invernadero de un porcentaje de luminosidad del 50%, con un riego cada tercer día o dependiendo de las condiciones climáticas del día.

Con respecto a la vía asexual para el caso de las especies que se propagan por varetas (estacas) se seleccionaron aquellas con al menos 2 cm de ancho y 25 cm de largo, con al menos 4 yemas vegetativas por vareta, en el caso de puntas deberían de ser puntas jóvenes con dos pares de hojas sin que estas presentaran flores o botón floral y por último los propágulos obtenidos por separación la planta madre debería de estar en etapa vegetativa sin presencia de botones florales o inflorescencias, seleccionados con al menos 15 hojas y presencia de raíz.

Todos estos propágulos se colocaron en una solución desinfectante a base de Carboxamida de 2 g/l, se aplicó un regulador de crecimiento vegetal tipo 1 en polvo impregnable a base de ácido indol-3-butírico, colocado en la parte inferior

Después de evaluar los diferentes métodos de propagación para cada especie, las plántulas obtenidas por vía sexual deberán de tener al menos una altura de 10 cm y dos pares de hojas verdaderas y para el caso de especies que sea por la vía asexual los esquejes deberán de presentar el crecimiento óptimo de hojas y raíz, para así poder ser trasplantadas, y dar un periodo para su aclimatación y crecimiento óptimo.

Para el trasplante se utilizaron bolsas de polietileno color negro de 25 X 22 cm. Se utilizó como sustrato composta, cacahuatillo y suelo de la zona en una relación

2:1:1, y las condiciones es las que se mantuvieron para su desarrollo fue en un invernadero tipo túnel con una cubierta plástica con un 50% de luminosidad.



**Figura 16.** Colecta de semillas para la propagación de especies nativas



**Figura 17.** Propagación asexual de *D. viscosa*



**Figura 18.** Propagación de especies bajo invernadero



**Figura 19.** Propagación asexual de *C. bipinnatus*



**Figura 20.** Propagación sexual de *D. tagetiflora*



**Figura 21.** Aclimatización y crecimiento de *C. bipinnatus*

### **7.10. Siembra en campo de las especies nativas conforme a tratamiento designado**

Cuando las plantas presentaron al menos una altura mayor a los 30 cm fueron trasplantadas en campo en cada una de las unidades experimentales. Contaron con las características ideales para su trasplante como altura, sistema radicular bien

desarrollado y follaje abundante, se sembraron a una densidad de siembra de 8 plantas por unidad experimental.

Cabe señalar que el suelo fue barbechado utilizando un pico, para todos aquellos tratamientos en los que era necesario, además de que se realizó un desmalezado de las unidades experimentales de manera manual.



**Figura 22 y 23.** Plantación de especies a evaluar con barbecho de suelo.

#### **7.11. Variables evaluadas y métodos usados para la estimación de datos.**

A continuación, se presentan cuáles fueron las variables evaluadas, así como el periodo en el que se realizaron.

**Cuadro 5. Variables a evaluar en campo.**

|          | <b>Variable</b>                                | <b>Método usado</b> | <b>Frecuencia</b>    |
|----------|--|---------------------|----------------------|
| <b>1</b> | Altura de la planta                            | Flexómetro (cm)     | Mensual              |
| <b>2</b> | Suelo acumulado en contenedor                  | g m <sup>-2</sup>   | Por evento de lluvia |
| <b>3</b> | Agua acumulada en contenedor                   | L m <sup>-2</sup>   | Por evento de lluvia |
| <b>5</b> | Intensidad de lluvia                           | mm h <sup>-1</sup>  | Por evento de lluvia |
| <b>6</b> | Cobertura del suelo por la especie luminosidad | Luxes               | Término del ciclo    |

## **8. Toma de datos**

### **8.1. Evaluación del porcentaje de germinación de las especies nativas**

El porcentaje de germinación (PG) se calculó con la siguiente fórmula.  $PG = [(N^{\circ} \text{ semillas germinadas}) / (N^{\circ} \text{ semillas sembradas})] \times 100$ .

Esta fórmula se aplicó tanto para la vía sexual como asexual.

### **8.2. Agua escurrida.**

Una vez ocurrido el fenómeno meteorológico de lluvia, se procedía a medir la cantidad de agua almacenada en el contenedor de 20 L, por efecto de la escorrentía que se generaba, para estimar dicha cantidad se utilizó una probeta graduada y un colador a base de una malla para evitar que pasaran partículas de suelo.



**Figura 24.** Agua escurrida en el contenedor por evento de lluvia

### **8.3. Suelo erosionado**

El suelo erosionado se colecto en el contenedor de cada unidad experimental, el cual fue arrastrado por el agua de lluvia. Este suelo colectado se depositó en frascos de vidrio y trasladadas al laboratorio de Manejo de suelo y agua de la BUAP, para secarlas en estufa de secado a 105 °C hasta peso constante, y registrar el valor como peso de suelo erosionado, por cada evento de lluvia.



**Figura 25.** Recolección de suelo erosionado.



**Figura 26.** Secado de suelo

#### **8.4. Área real de la unidad experimental**

Se realizaron mediciones a lo largo y ancho del cajón cada 20 cm con la finalidad de sacar un promedio de lo largo y ancho del cajón y así obtener el área real de cada una de las unidades experimentales.

#### **8.5. Coeficiente de escurrimiento**

El análisis se realizó conforme a los datos obtenidos en el experimento el cual se basó conforme a la siguiente formula:

$$\text{Coeficiente de escurrimiento:} = \text{VAE} / \text{VAC} \times 100$$

VAE= Volumen de agua escurrida.

VAC= Volumen de agua caída por lluvia.

Considerando la misma unidad de área para ambos datos.

## **8.6. Intensidad de lluvia**

Este dato se obtuvo de la cantidad de agua que se precipita por unidad de tiempo, se observó el valor conforme a la curva que se desarrolla por cada evento de lluvia tomando en cuenta los datos de la estación meteorológica inalámbrica para cada evento de lluvia representativo.

## **8.7. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza, previa prueba de homogeneidad de varianzas en cada variable, de las cuales en ninguna fue necesario utilizar alguna prueba no paramétrica ni transformación de datos para su análisis (Conover e Iman, 1981). Las comparaciones de medias se realizaron aplicando Tukey ( $p \leq 0.05$ ) (Zar, 2009). En los análisis se utilizó el programa Statgraphics centurión XVI.

## 9. RESULTADOS.

### Propagación de las plantas nativas evaluadas

Para la propagación de plantas nativas se analizaron diferentes métodos de propagación para cada una de las especies que se utilizaron, así como el desarrollo y aclimatación de estas en condiciones controladas. Todo el proceso de propagación y aclimatación se realizó en las instalaciones del área de viveros del parque de conservación de Africam Safari.

#### 9.1. Propagación efectiva por especie vegetal nativa

En el cuadro 6 y 7 podemos observar los resultados obtenidos de la propagación de las especies nativas por la vía asexual y sexual, esto conforme a las características de la planta madre y morfología de cada especie.

**Cuadro 6. Evaluación de la propagación asexual de cinco especies nativas de la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla.**

| Espece                      | Método asexual            | Porcentaje de prendimiento |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <i>Dyssodia tagetiflora</i> | Esqueje de puntas jóvenes | 16%                        |
| <i>Dodonaea viscosa</i>     | Esqueje de puntas jóvenes | 33%                        |
| <i>Dahlia excelsa</i>       | Estacas basales           | 98%                        |
|                             | Yemas adventicias         | 70%                        |
| <i>Muhlenbergia robusta</i> | Por separación            | 96%                        |
| <i>Cosmos bipinnatus</i>    | Esqueje de puntas jóvenes | 50%                        |

La especie de dalia (*Dahlia excelsa*) y zacatón (*Muhlenbergia robusta*) fueron los que obtuvieron el mayor porcentaje de prendimiento por la vía asexual utilizando los propágulos especificados en el Cuadro 6.

Para las especies que se propagaron por la vía asexual utilizando esquejes se utilizaron charolas para germinar de 49 cavidades. En el cuadro 7 podemos observar que las especies cosmo (*Cosmos bipinnatus*) y amorcillo (*Dyssodia tagetiflora*) fueron las que obtuvieron mayor porcentaje de germinación por la vía sexual.

Las bolsas se colocaron en condiciones de un invernadero con plástico del 50% de luminosidad a una temperatura promedio durante el día de 36 °C.

En el cuadro 7 podemos observar que las especies cosmos (*Cosmos bipinnatus*) y amorcillo (*Dyssodia tagetiflora*) fueron las que obtuvieron mayor porcentaje de germinación por la vía sexual.

**Cuadro 7. Evaluación de la propagación sexual de las cinco especies nativas.**

| <b>Especie</b>              | <b>Porcentaje de germinación</b> |
|-----------------------------|----------------------------------|
| <i>Dyssodia tagetiflora</i> | 60%                              |
| <i>Dodonaea viscosa</i>     | 55%                              |
| <i>Dahlia excelsa</i>       | semillas vanas                   |
| <i>Muhlenbergia robusta</i> | 0%                               |
| <i>Cosmos bipinnatus</i>    | 92 %                             |

Para la propagación por la vía sexual se utilizaron charolas para germinar de 49 cavidades, en un sustrato de turba y vermiculita a una relación de 3:1, las charolas se colocaron en un invernadero tipo túnel a una temperatura durante el día de 36 °C, con un porcentaje de luminosidad del 50%.

La especie cosmos (*Cosmos bipinnatus*) germinó a los 10 días de haber sido sembrado con buena homogeneidad entre semillas bajo las condiciones antes mencionadas, la especie amorcillo (*Dyssodia tagetiflora*) germinó a los 14 días de haber sido sembrada.

Para la especie Jarilla, aunque fue la tercera en cuanto al porcentaje de germinación (*Dodonaea viscosa*) las semillas se dejaron remojar en agua durante 24 horas, para

posteriormente ser sembradas, obteniendo un porcentaje de germinación del 55% bajo las condiciones antes mencionadas, esta especie germinó a los 15 días de haber sido plantado sin embargo, las plántulas salieron muy dispersas teniendo rangos de emergencia de al menos 4 días una de la otra.



**Figura 27.** Pruebas de germinación en *D. excelsa*



**Figura 28.** Desarrollo de plantas de *D. tagetiflora*

**Cuadro 8. Método de propagación con mayor porcentaje de germinación de cinco especies de plantas nativas de la zona de San Pedro Zacachimalpa.**

| <b>N. común</b> | <b>Especie</b>              | <b>Forma de reproducción</b> | <b>Instalación</b> |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Zacatón         | <i>Muhlenbergia robusta</i> | Esqueje- planta en vivero    | Trasplante         |
| Cosmos          | <i>Cosmos bipinnatus</i>    | Semilla-planta en vivero     | Trasplante         |
| Amorcillo       | <i>Dyssodia tagetiflora</i> | Semilla-planta en vivero     | Trasplante         |
| Jarilla.        | <i>Dodonaea viscosa</i>     | Semilla-planta en vivero     | Trasplante         |
| Dalia.          | <i>Dahlia excelsa.</i>      | Esqueje- planta en vivero    | Trasplante         |

Una vez evaluado los diferentes métodos de propagación las plántulas se mantuvieron bajo invernadero a un 50% de luminosidad, hasta que presentaron las características ideales para su trasplante.

## 9.2. Trasplante y aclimatación de las especies.

Como sustrato se utilizó composta con cacahuatillo de partícula pequeña en una relación 3:1, colocándolos en bolsas de polietileno negras a una temperatura promedio durante el día bajo invernadero durante el día de 36 °C, con un porcentaje de luminosidad del 50%.



**Figura 29 y 30.** Pruebas de germinación de *Cosmos bipinnatus*

Una observación adicional es que el año 2022 período del experimento de campo tuvo un retraso en el periodo de lluvias, por lo que la disponibilidad de humedad en el suelo del campo para trasplante se consideró que fue tardío reduciendo el tiempo de estimación de los efectos de las especies en su contribución en el control de la erosión del suelo.



**Figura 31.** Desarrollo en la unidad experimental de *C. bipinnatus*

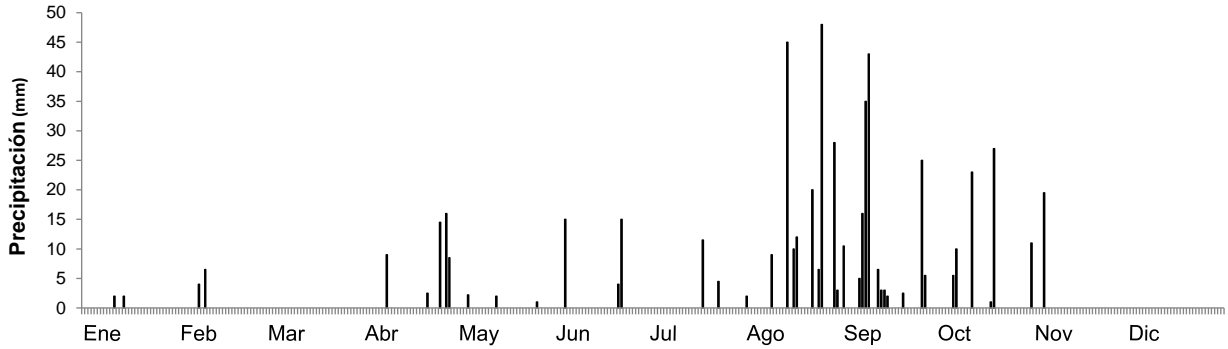


**Figura 32.** Desarrollo en la unidad experimenta de *M. robusta*

### **9.3. Esgurrimiento superficial con presencia de especie vegetal nativa y laboreo del suelo (barbechado y no barbechado).**

En el año 2022 el patrón de lluvias observado en la zona donde se instaló el experimento fue menor a la registrada en años anteriores; de 1951 a 2010 fue de 715 mm, en tanto que de 1981 a 2010, bajó a 622 mm, siendo la mayor cantidad de lluvias entre los meses de mayo a octubre.

Durante el año 2022, las precipitaciones fueron de 566.7 mm, siendo escasas entre los meses de mayo a julio, normalizándose entre los meses de agosto a octubre, Figura 33.



**Figura 33.** Comportamiento de la precipitación (mm) registrada en el sitio de estudio, durante el año 2022.

Ante el retraso de las precipitaciones, los escurrimientos superficiales durante los meses de abril a julio no se observaron, lo que afectó también la fecha de instalación del experimento de campo. El registro de datos de escurrimientos se concentró en los meses de septiembre a octubre y parte de noviembre (Cuadro 9). Las lluvias de agosto sirvieron para estabilizar el terreno y aclimatar las especies de plantas nativas, las cuales fueron trasplantadas en el mes de julio.

De septiembre a noviembre se presentaron 19 eventos de precipitación en el experimento, en siete de ellos se registró escurrimiento de agua (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Esguerrimiento de agua por metro cuadrado, por evento de precipitación registrada, en el sitio de experimento de campo.**

| Fecha      | Precipitación (mm) | Agua escurrida (L/m <sup>2</sup> ) | Agua escurrida (%) | Agua retenida (%) |
|------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------|
| 01/09/2022 | 10.5               | 0                                  | 0                  | 100               |
| 07/09/2022 | 16                 | 1.54                               | 10                 | 90                |
| 08/09/2022 | 35                 | 3.4                                | 10                 | 90                |
| 09/09/2022 | 43                 | 1.97                               | 5                  | 95                |
| 12/09/2022 | 6.5                | 0                                  | 0                  | 100               |
| 13/09/2022 | 3                  | 0                                  | 0                  | 100               |
| 14/09/2022 | 3                  | 0                                  | 0                  | 100               |
| 15/09/2022 | 2                  | 0                                  | 0                  | 100               |
| 20/09/2022 | 2.5                | 0                                  | 0                  | 100               |
| 26/09/2022 | 2.5                | 0                                  | 0                  | 100               |
| 27/09/2022 | 5.5                | 0                                  | 0                  | 100               |
| 06/10/2022 | 5.5                | 0                                  | 0                  | 100               |
| 07/10/2022 | 10                 | 0                                  | 0                  | 100               |
| 12/10/2022 | 23                 | 8.9                                | 39                 | 61                |
| 18/10/2022 | 1                  | 0                                  | 0                  | 100               |
| 19/10/2022 | 27                 | 4.09                               | 15                 | 85                |
| 31/10/2022 | 11                 | 0.81                               | 7                  | 93                |
| 04/11/2022 | 19.5               | 6.52                               | 33                 | 67                |
| 25/12/2022 | 6                  | 0                                  | 0                  | 100               |

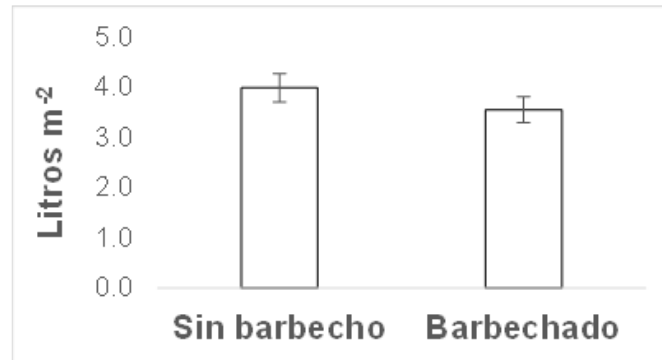
Fuente: Pluviómetro instalado en el área del experimento.

Del cuadro 9, es posible que el agua no escurrida sea por efectos de evaporación en los primeros momentos de la lluvia sobre el suelo “seco” y calentada por el sol, retención de agua por el suelo hasta completar a valores de capacidad de campo o infiltración cuando la lluvia no fuera intensa, o una lluvia de mayor tiempo de duración; además de otros factores, como el nivel de compactación del suelo o remoción este (barbecho), y la presencia de una cubierta vegetal.

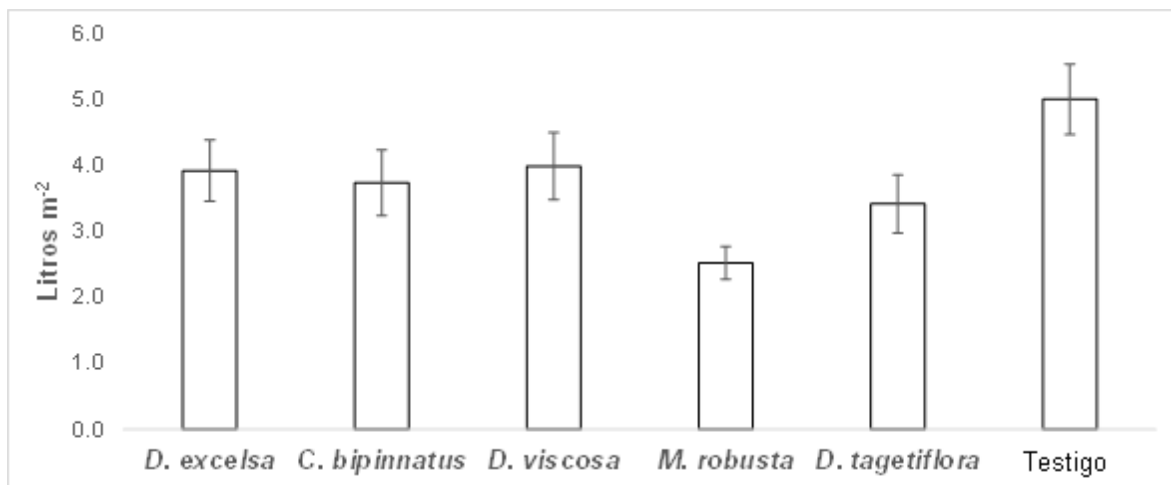
Conforme a los datos registrados, para precipitaciones menores o igual a 10.5 mm, no hubo esguerrimiento de agua.

De los eventos de lluvia en que sí hubo esguerrimiento de agua, hubo diferencias significativas entre los tratamientos de labranza: suelo barbechado y suelo sin

barbechar ( $F(1, 168)=0.5211$ ,  $p=0.4713$ , siendo el suelo sin labranza en donde el agua de lluvia escurrió más. Es posible que el suelo barbechado haya absorbido mayor cantidad de agua Figura 34.



**Figura 34.** Cantidad de agua escurrida (L/m<sup>2</sup>) por tipo de labranza.



**Figura 35.** Cantidad de agua escurrida (L/m<sup>2</sup>) con presencia de plantas de diferentes especies nativas, *Dyssodia tagetiflora*, *Cosmos bipinnatus*, *Dodonaea viscosa*, *Dahlia excelsa*, *Muhlenbergia robusta*, Testigo.

La cantidad de agua escurrida por la presencia de plantas de especies nativas fueron diferentes ( $F(5, 168) = 6.89$ ,  $p=0.000$ ), siendo la especie zacatón en donde

el agua escurrió en menor cantidad; mientras que en el tratamiento testigo, sin plantas, fue en donde hubo mayor cantidad de escurrimiento de agua Figura 35.

#### 9.4. Suelo erosionado

En el experimento de campo se observó que, si no hubo escurrimiento de agua, tampoco hubo erosión del suelo. Las cantidades de suelo colectado corresponde a eventos de agua escurrida sin variaciones, de acuerdo con la cubierta vegetal presente y al tipo de labranza realizada al suelo.

En el cuadro 10, se observa que la cantidad de suelo erosionado no es directamente proporcional a la cantidad de agua escurrida, ni tampoco a la cantidad de agua precipitada.

**Cuadro 10. Cantidad de suelo total erosionado por evento de lluvia mayor a 10.5 mm.**

| Fecha      | Precipitación (mm) | Agua escurrida (L/m <sup>2</sup> ) | Suelo erosionado (g/m <sup>2</sup> ) |
|------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 07/09/2022 | 16                 | 1.54                               | 180                                  |
| 08/09/2022 | 35                 | 3.4                                | 402                                  |
| 09/09/2022 | 43                 | 1.97                               | 248                                  |
| 12/10/2022 | 23                 | 8.9                                | 589                                  |
| 19/10/2022 | 27                 | 4.09                               | 45                                   |
| 31/10/2022 | 11                 | 0.81                               | 183                                  |
| 04/11/2022 | 19.5               | 6.52                               | 515                                  |

Fuente: Datos tomando en campo

Es posible que ambas variables (agua escurrida y suelo erosionado), puedan estar determinadas por otros factores ambientales como el tiempo de lluvia, las condiciones del suelo y de la cubierta vegetal presente.

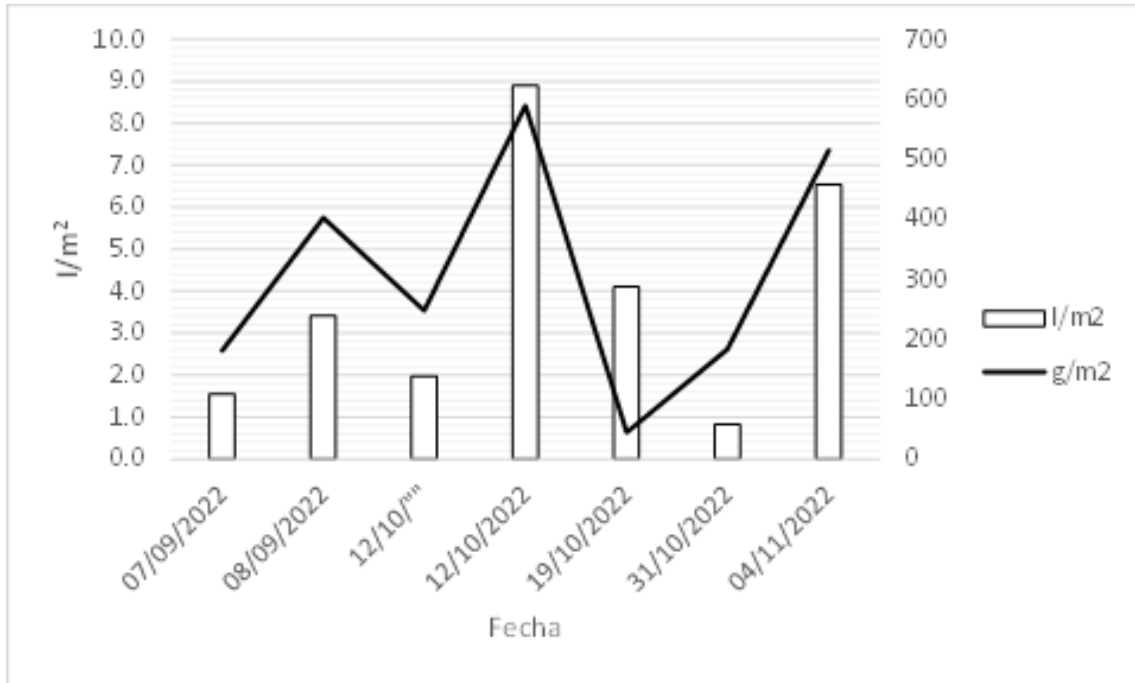
**Cuadro 11. Cantidad de suelo erosionado con presencia de plantas de diferentes especies nativas.**

| <b>Especie nativa</b>       | <b>Suelo erosionado (g/m<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------------------|---|
| <i>Dahlia excelsa</i>       | 304.24                                    |
| <i>Cosmos bipinnatus</i>    | 355.58                                    |
| <i>Dodonaea viscosa</i>     | 357.29                                    |
| <i>Muhlenbergia robusta</i> | 197.28                                    |
| <i>Dyssodia tagetiflora</i> | 328.19                                    |
| Testigo                     | 310.12                                    |

En el Cuadro 11, se aprecia la cantidad de suelo erosionado por el escurrimiento de agua de lluvia; sin embargo, a pesar de que el valor con la presencia de *M. robusta* pareciera ser menor, estadísticamente no se encontraron diferencias entre las especies de plantas nativas ( $F(5, 168)=1.2299$ ,  $p=.297$ ).

#### **9.5. Cantidad de agua escurrida**

En la figura 37, podemos observar que la cantidad de suelo erosionada en g/m<sup>2</sup> no está relacionado con la cantidad de agua escurrida, esto quiere decir que depende de otros factores, como por ejemplo el coeficiente de escurrimiento de lluvia.



**Figura 36.** Cantidad de suelo erosionado en g/m<sup>2</sup> con respecto a la cantidad de agua escurrida en litros/m<sup>2</sup>

Además de factores como la relación entre el crecimiento de las plantas y el periodo de lluvia, puesto que se busca que las plantas vayan acorde al periodo de lluvias de la zona, buscando que el periodo de mayor presencia de lluvias, tanto en secuencia como en intensidad, se relacione con el mayor porcentaje de cobertura vegetal de las plantas, esto ayudará a disminuir el grado de erosión del suelo.

En relación con la protección contra los agentes erosivos como lo es la lluvia, se deben seleccionar especies de rápido cubrimiento en el suelo y que aporten abundante biomasa aérea, alta densidad de plantas y buen sistema radicular para el mejoramiento de la estabilidad de la estructura del suelo.

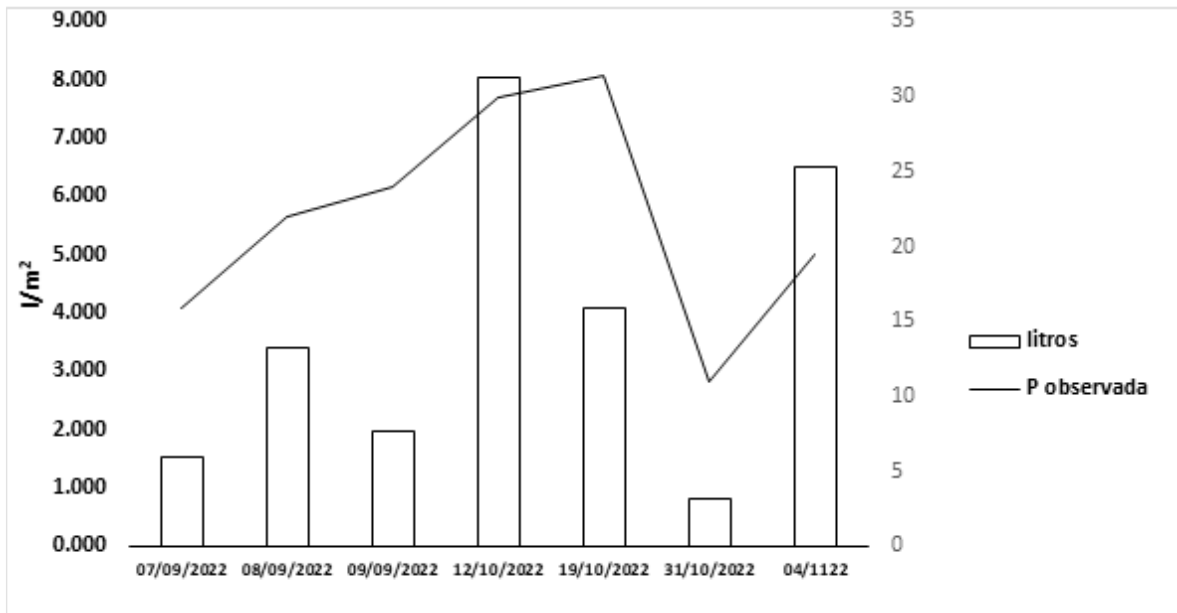
**Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable suelo erosionado en el periodo de septiembre-diciembre del 2022, en San Pedro Zacachimalpa, Puebla.**

| <b>Efecto</b>            | <b>Suma<br/>cuadrados</b> | <b>Grados<br/>de L</b> | <b>Cuadrado<br/>Medio</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|----------|----------|
| Fecha                    | 8473320                   | 6                      | 1412220                   | 11.90    | 0.00     |
| C/S B                    | 996                       | 1                      | 996                       | 0.008    | 0.92     |
| Sp Nativa                | 729774                    | 5                      | 145955                    | 1.229    | 0.29     |
| Fecha*C/S B              | 488500                    | 6                      | 81417                     | 0.686    | 0.66     |
| Fecha*Sp nativa          | 2033969                   | 30                     | 67799                     | 0.571    | 0.96     |
| C/S B * Sp nativa        | 596350                    | 5                      | 119270                    | 1.005    | 0.41     |
| Fecha*C/S B*Sp<br>nativa | 3463904                   | 30                     | 115463                    | 0.973    | 0.51     |
| Error                    | 19936441                  | 168                    | 118669                    |          |          |

Conforme al análisis del ANOVA de los datos de suelo erosionado por unidad experimental, se determina que sólo existe diferencia significativa en cuanto a la fecha de precipitación. No habiendo diferencias significativas con la presencia de especies de plantas nativas y el laboreo del suelo (barbechado y no barbechado).

### **9.6. Cantidad de agua de lluvia colectada**

En la Figura 38 se muestra la cantidad promedio de lluvia (litros/m<sup>2</sup>) colectada por fecha representativa para el escurrimiento, comparada con la precipitación lo que nos indica es la intensidad con que se llevó a cabo la precipitación.



**Figura 37.** Cantidad promedio de agua (litros/m<sup>2</sup>) colectada por evento de lluvia con capacidad de escurrimiento, comparada con la precipitación observada (mm).

### 9.7. Coeficiente de escurrimiento por especie vegetal

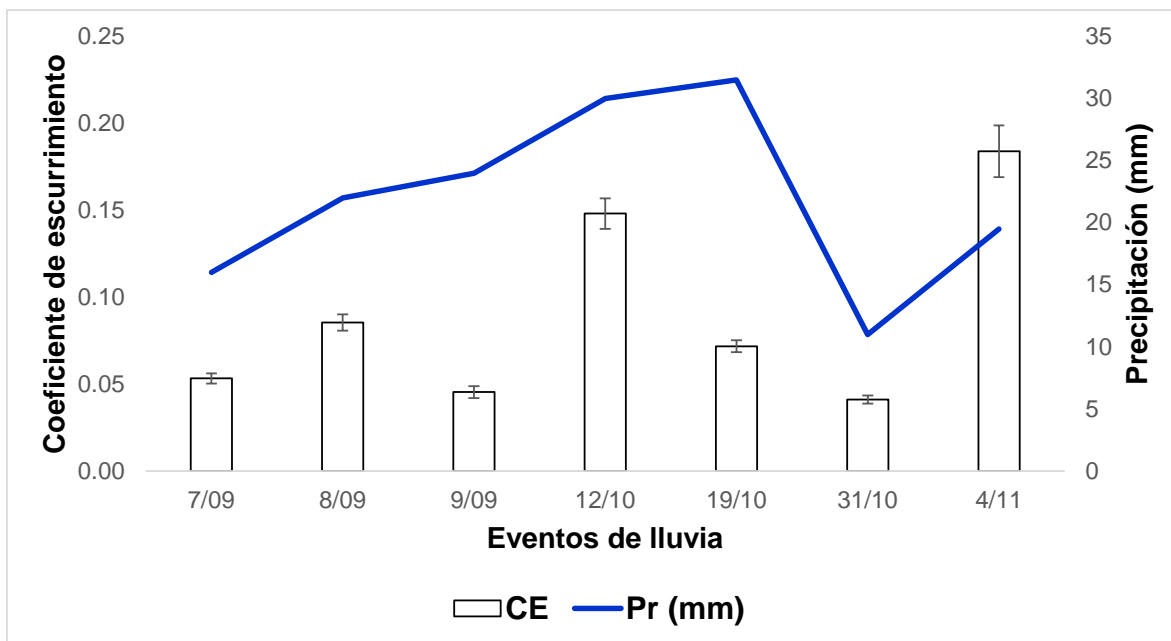
Un factor importante que interviene en el efecto de arrastre de las partículas es la intensidad de lluvia, este dato fue obtenido del pluviógrafo que se encuentra en la estación meteorológica de Africam Safari, la cual está ubicada a 2.5 km de distancia del experimento.

Debido a que el coeficiente de escurrimiento no es un factor constante, sino que varía con la intensidad de la lluvia y las condiciones de la cuenca, su determinación es aproximada, es la relación que existe entre el volumen escurrido y el volumen llovido.

**Cuadro 14. Análisis de varianza del coeficiente de escurrimiento.**

| Efecto                | Suma cuadrados | Grados de L | Cuadrado Medio | F      | P     |
|-----------------------|----------------|-------------|----------------|--------|-------|
| Fecha                 | 6582.34        | 6           | 1097.06        | 69.835 | 0.000 |
| C/S B                 | 41.71          | 1           | 41.71          | 2.655  | 0.105 |
| Sp Nativa             | 768.46         | 5           | 153.69         | 9.784  | 0.000 |
| Fecha*C/S B           | 101.07         | 6           | 16.85          | 1.072  | 0.381 |
| Fecha*Sp nativa       | 423.30         | 30          | 14.11          | 0.898  | 0.622 |
| C/S B * Sp nativa     | 99.73          | 5           | 19.95          | 1.270  | 0.279 |
| Fecha*C/S B*Sp nativa | 431.62         | 30          | 14.39          | 0.916  | 0.596 |
| Error                 | 2639.16        | 168         | 15.71          |        |       |

Una vez analizado los datos del ANOVA del Cuadro 14, se aprecia que en el coeficiente de escurrimiento se presentaron diferencias significativas por efecto de fecha de registro y especie nativa con un 95% de confianza.

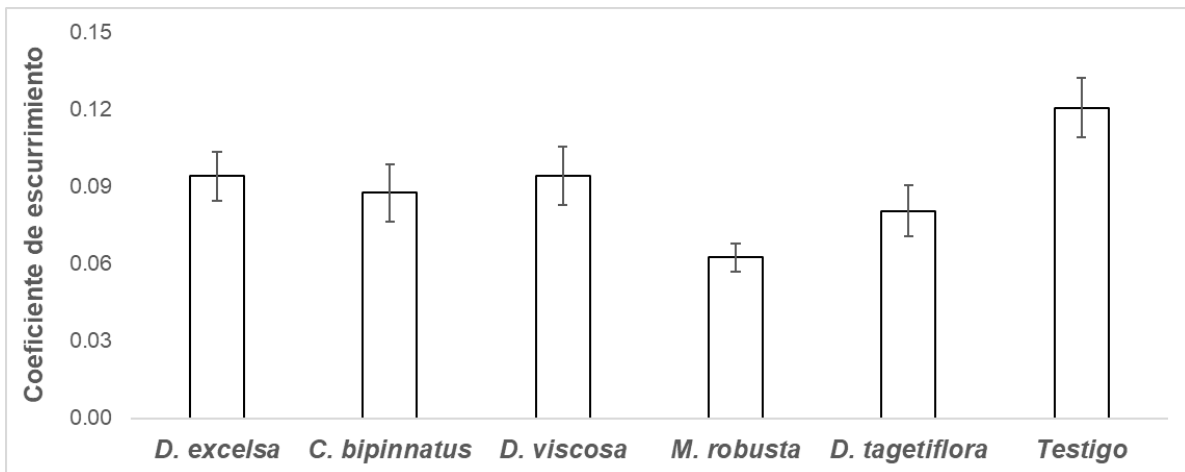


**Figura 38.** Coeficiente de escurrimiento comparado con la precipitación en (mm) por evento de lluvia.

**Cuadro 15. Desviación estándar del coeficiente de escurrimiento de cada una de las especies nativas.**

| Espece nativa               | Coficiente de escurrimiento (%) | Error estándar |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------|
| <i>Dahlia excelsa</i>       | 9.406                           | 0.947          |
| <i>Cosmos bipinnatus</i>    | 8.756                           | 1.104          |
| <i>Dodonaea viscosa</i>     | 9.411                           | 1.124          |
| <i>Muhlenbergia robusta</i> | 6.243                           | 0.544          |
| <i>Dyssodia tagetiflora</i> | 8.058                           | 0.993          |
| Testigo                     | 12.068                          | 1.151          |

La cantidad de lluvia y la fuerza con la que esta se presenta entre otros factores como la presencia de cobertura vegetal, determinarán la cantidad de suelo erosionado. Entre los diversos tipos de erosión encontramos a la erosión laminar que se produce por acción del escurrimiento perdiéndose una capa fina de la superficie del suelo

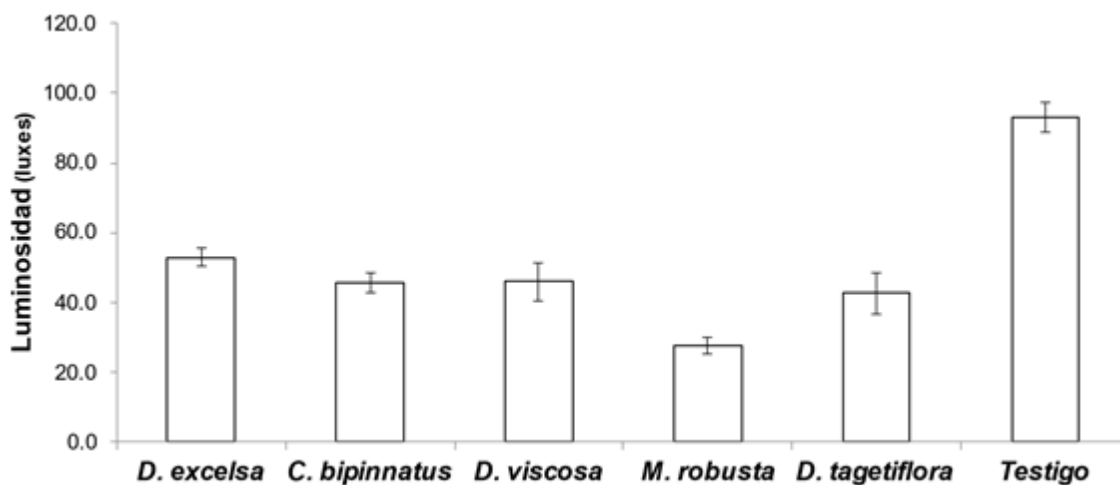


**Figura 39.** Coficiente de escurrimiento, con presencia de plantas de diferentes especies nativas *Dyssodia tagetiflora*, *Cosmos bipinnatus*, *Dodonaea viscosa*, *Dahlia excelsa*, *Muhlenbergia robusta*, Testigo.

## 9.8. Evaluación de la cobertura vegetal.

En la figura 41 podemos observar que la mayor cantidad de luminosidad que se presenta por cada tratamiento es en el tratamiento del testigo 93 Lux y menor en el tratamiento con la especie zacatón (*M. robusta*) 27.6 Lux.

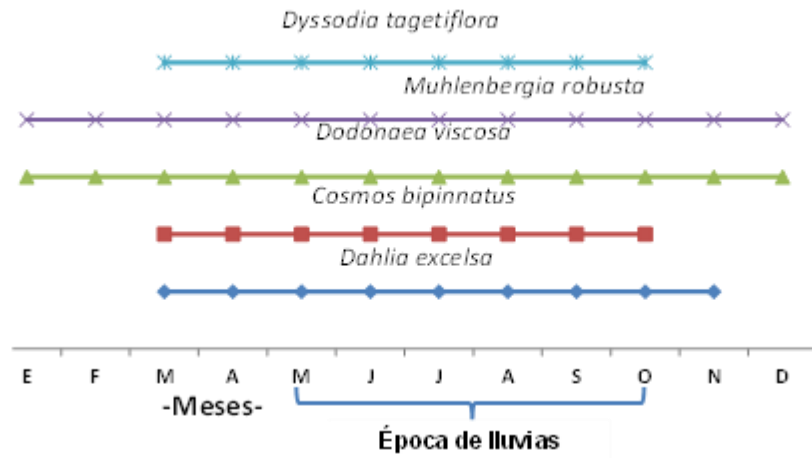
Comparando los tratamientos conforme a cobertura vegetal encontramos que los tratamientos son estadísticamente diferentes  $F(5, 24)=31.546$ ,  $p=0.000$ .



**Figura 40.** Luminosidad (luxes), con presencia de plantas de diferentes especies nativas *Dyssodia tagetiflora*, *Cosmos bipinnatus*, *Dodonaea viscosa*, *Dahlia excelsa*, *Muhlenbergia robusta*, Testigo.

## 9.9. Ciclo biológico de las plantas nativas

Como se observa en la Figura 41, las especies de zacatón (*M. robusta*), dalia (*Dahlia excelsa*.) y jarilla (*Dodonaea viscosa*) fueron las que presentaron un mayor ciclo vegetativo durante el año, mientras que las especies cosmos (*Cosmos bipinnatus*) y amorcillo (*Dyssodia tagetiflora*) presentaron un ciclo menor comparado con las otras especies.



**Figura 41.** Ciclo biológico de las cinco especies nativas utilizadas en el experimento para el año 2022.

## 10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos permiten comprender cómo el factor de cobertura vegetal interviene en el proceso de la erosión hídrica, en la zona de San Pedro Zacachimalpa, Puebla. Además de analizar qué otros factores intervienen en la erosión hídrica y cómo es que todos ellos se relacionan.

Otro aspecto importante es generar conocimientos en cuanto a la propagación de especies de plantas nativas y su uso para el establecimiento de coberturas que ayuden a disminuir la cantidad de suelo erosionando por efecto de la lluvia.

Existe gran interés a nivel internacional por el rescate de la flora nativa y en los últimos años, nuestro país ha puesto mayor énfasis en este aspecto, sin embargo, se han enfocado en su rescate para darles un uso como plantas de ornato, por lo que trabajos como este nos permiten encontrar otros usos para las plantas nativas que hasta cierto punto han estado olvidadas.

Como señalan Mejía y Espinosa (2003), es necesario conocer la historia ambiental e interrelacionarla con el hombre urbano y su cultura ambiental. Los programas de plantación deben orientarse no sólo a la formación de masas arbóreas, sino también a la formación de cubiertas vegetales integrados en las secuencias de la sucesión vegetal.

### **Permanencia en campo de las especies nativas reintroducidas**

Las especies nativas están adaptadas al medio en que se encuentran, muchas de ellas se desarrollan con bajos requerimientos hídricos, resisten altas y/o bajas temperaturas, son resistentes a plagas o enfermedades y son parte del entorno regional y cultural (Alanís, 2003). Solamente se hace necesario descubrir de qué manera las especies pueden poblar un espacio geográfico, en este estudio, *M. robusta* permanece sin ninguna alteración un año después; pero *C. bipinatus* ya no está presente desde que concluyó su ciclo biológico; *D. excelsa* permanece con pocas hojas verdes; *D. viscosa* sigue en pie, normalmente. Por observaciones en

campo, de *D. tagetiflora* germinaron semillas, pero posiblemente las hormigas *Atta mexicana* las hayan forrajeado.

Lo anterior muestra que *M. robusta* puede ser reintroducida con gran éxito, así como *D. viscosa*; *D. excelsa* y *D. tagetiflora* pueden ser reintroducidas con más cuidados, en tanto que *C. bipinatus*, posiblemente no pueda desarrollarse, lo que podría explicar por qué no se observa en los alrededores del sitio de estudio, a pesar de que la especie sí es de la región.

En vivero, la propagación de las cinco plantas nativas evaluadas resultó viable, sea por la vía sexual o por la asexual; pero falta establecer métodos estratégicos para que todas las especies evaluadas permanezcan una vez reintroducidas.

### **Especies exitosas y no exitosas en el control de la erosión del suelo**

La toma de datos de cantidades suelo arrastrado por escurrimiento del agua de lluvia fueron registrados en 7 eventos; sin embargo, hubo otros 10 eventos esporádicos antes de la instalación del experimento, de los cuales no se registraron datos. Considerando que la primera lluvia es absorbida por el suelo, al extrapolar el suelo erosionado en todo el año, se estima que con *D. excelsa* se erosionaron 6.95 t/ha; de *C. bipinnatus*, 8.13 t/ha; de *D. viscosa*, 8.17 t/ha; de *M. robusta* 4.51 t/ha; de *D. tagetiflora*, 7.50 t/ha; y del Testigo, 7.09 t/ha. Si bien con estos registros no, hubo diferencias significativas en los efectos de control de la erosión del suelo, estos datos son similares al que cita Castro (2013) para microcuencas en el estado de México, que es de 7.58 t/ha/año basándose en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

### **Efectos de la anatomía de las plantas sobre la eficiencia en el control de la erosión.**

Con los resultados obtenidos, *M. robusta* no puede considerarse como la especie que retiene mejor el suelo en los procesos de erosión hídrica, como se señaló en la hipótesis respectiva; pero, sí fue la más exitosa en no permitir el escurrimiento de

agua de lluvia, en este último caso, puede estar motivado por la cobertura que produce sobre el suelo y su sistema radicular fasciculado, que pudiera funcionar como una forma de cobertura vegetal como el que produce el rastrojo en el suelo (Osuna *et al.*, 2014).

En cambio, especies de plantas que no presentan características morfológicas de cobertura del suelo o un sistema radicular fasciculado, pueden no ser tan efectivas en el control de la erosión del suelo o en la disminución de cantidades de escurrimiento del agua de lluvia.

Si se observa la anatomía de las demás especies: *D. excelsa*, *C. bipinnatus* y *D. viscosa*, son plantas que, si bien tienen mayor altura y cantidad de follaje, con cuyas características pueden cubrir el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, no pueden retener el escurrimiento del agua de lluvia por cuanto son de tallos únicos en el suelo y sin amacollamientos. Este tipo de plantas, pueden ser más eficientes en la erosión si sobre el suelo existiera una cubierta de hojarasca abundante, la cual estaría estabilizada por los tallos de plantas presentes.

### **Causas de las variaciones del coeficiente de escurrimiento, según la especie vegetal.**

Se conoce que a partir de los diez minutos desde el inicio de una tormenta se producen los mayores cambios en las propiedades superficiales y físicas del suelo, a partir de los 15 minutos estos cambios se revierten. La rapidez de dichos cambios es indicativa de la vulnerabilidad de estos suelos a la generación de escorrentía y erosión, como lo señala Martínez *et al.*, (2001).

También se sabe que la primera lluvia del año es absorbida por el suelo seco. Esta absorción también se da en el suelo cuando las lluvias no han sido suficientes para hacer llegar al suelo al nivel de humedad de capacidad de campo, por lo que la cantidad de agua que le falte será absorbida. En el experimento de campo se observó que lluvias menores a 10.5 mm, no provocaban escurrimientos de agua; mientras que Rosatto *et al.*, (2010), menciona que con lluvias de hasta 20 mm, el

100 % del suelo es retenido con la presencia de la especie *Sedum spurium* con y sin mantenimiento.

La retención del suelo puede estar dado por sus características físicas y químicas; la densidad del suelo evaluado es de 1.15 g/cm<sup>3</sup>, el cual es mayor al del agua; pero cuando el agua incrementa su velocidad, ese suelo es arrastrable por el agua en escurrimiento.

A partir de la manifestación de escurrimientos de agua de lluvia y considerando que a mayor pendiente el agua puede incrementar su velocidad, inicia el efecto de la erosión del suelo y a la vez, el trabajo que las plantas presentes pueden ejercer para revertir ese incremento de velocidad del agua es cuando las plantas adquieren importancia para disminuir los efectos de la erosión del suelo y no permitir escorrentías, favoreciendo su infiltración al interior del suelo.

Los coeficientes de escurrimiento obtenidos fueron de 6.2 a 12%, equiparables al de otros suelos o praderas (Zegarra *et al.*, 2015); sin embargo, es notorio el efecto de *M. robusta* que disminuye el escurrimiento, contrario al testigo (sin plantas), con lluvias de 11 a 43 mm.

### **Sobre la erosión del suelo**

En el presente estudio la cantidad máxima de suelo erosionado se registró con la especie jarilla (*D. viscosa*), siendo esta cantidad de 8.17 toneladas de pérdida de suelo por hectárea; sin embargo, esta cantidad es considerada como una erosión ligera en el contexto nacional, en donde la SEMARNAT (2002) califica como erosión moderada si la pérdida es de 10 a 50 t/ha; alta, de 50 a 200 t/ha.; y muy alta, más de 200 t/ha. Es probable que el nivel de erosión registrada en el sitio de estudio, que corresponde al año 2022, esté dado ser un año de poca precipitación, que limitó el establecimiento de cultivos por cuanto el periodo de lluvias se retrasó.

Cuando se menciona que el sitio de estudio presenta evidencias de erosión severa, es porque existen barrancas donde fluye el agua de lluvia, de aproximadamente hasta 12 m. En el lugar del experimento no se presentan evidencias de la existencia

de un horizonte A, ni B, habiendo antecedentes de que el tipo de suelo en ese lugar es de Feozem, que son suelos porosos, oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que son ideales para la agricultura; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión hídrica pueden ser sus principales limitantes.

## 11. CONCLUSIONES

Las semillas de la especie *Cosmos bipinnatus* germinó en un menor periodo de tiempo, sin necesidad de un método pregerminativo, pero sólo comparado con especies de reproducción vía sexual.

Las especies herbáceas presentaron un ciclo más corto que las arbustivas.

El coeficiente de escurrimiento de agua de lluvia fue menor con la presencia de las especies vegetales nativas en comparación con el testigo, cuyas características son como aparece el suelo en campo, sin la introducción de ninguna planta nativa evaluada.

Para la variable cantidad de agua escurrida se encontró que sí existen diferencias significativas entre el suelo barbechado y el no barbechado, con la presencia de especies de plantas nativas evaluadas.

Con la variable suelo erosionado sólo hay diferencias significativas por evento de lluvia; sin embargo, la menor cantidad de suelo erosionado se presentó con la especie zacatón (*Muhlenbergia robusta*) con el que se erosionaron 4.51 t/ha y la mayor cantidad fue con *Dodonaea viscosa*, con 8.17 t/ha.

## 12. LITERATURA CITADA.

- Acosta H., A. C.; González E., M.; Ruacho G., L. (2014). Conocimiento actual de *Dodonaea viscosa* (sapindaceae) en Durango: Una revisión. *Vidsupra* 6(1): 19-22.
- Alanís F., G. F. (2003). Plantas nativas del norte de México con potencial ornamental. En: Mejía, J. M. y A. Espinosa (comps.). *Plantas nativas de México con potencial ornamental*. Universidad Autónoma de Chapingo, México. pp. 123-131.
- Alvarado, V.; Bermúdez, T.; Romero, M.; Piedra, L. (2011). Plantas nativas para el control de la erosión en laderas de ríos urbanos. En: I Simposio de Ecología Urbana; 2011 May 12; San José, Costa Rica: UNA-UNED. Publicado en CD ROM.
- Belmonte S., F.; Romero D., A.; López B., F.; Hernández L., E. (1999). Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de geografía* (30): 5-15.
- Blanco, Y. y Leyva, Á. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales* 28(2): 21-28.
- Bolaños González, M. A., F. Paz Pellat, C. O. Cruz Gaistardo, J. A. Argumedo Espinoza, V. M. Romero Benítez y J. C. de la Cruz Cabrera. 2016. Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 271-288.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Rev. Cienc. Agr.* 33(2):106-116.
- Camargo, C.; Pacheco, C. y López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso

de sensores remotos y Sistemas de Información. *Geográfica Gestión y Ambiente* 20(2): 265-280.

Chiarito, E.; Zimmermann, E. y Méndez Z., S. (2018). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección. *Cuadernos del CURIHAM* 24: 25-36.

CONABIO 2022. FICHA INFORMATIVA

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/muhlenbergia-glabrata/fichas/ficha.htm>. Consultado el 20 de mayo de 2022.

CONABIO 2023. FICHA INFORMATIVA

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/dyssodia-tagetiflora/fichas/ficha.htm>. Consultado el 29 de noviembre de 2023.

Conover, W. J., & Iman, R. L. (1981). Rank Transformations as a Bridge Between Parametric and Nonparametric Statistics. *The American Statistician*, 35(3), 124–129.

Coombes A., J. y Rodríguez A., M. (2014). Mosaico floral poblano. Saberes y Ciencia, Suplemento mensual, La Jornada. <https://saberesyciencias.com.mx/2014/04/01/mosaico-floral-poblano/>

Cotler, A., H. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? ¿Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícola? *Investigación ambiental*, 3(2): 18-30.

Cotler, H., López, C. A. y Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigaciones Ambientales*, 3 (2): 31-43.

Cotler, H.; Sotelo, E.; Domínguez, J.; Zorrilla, M.; Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83: 5-71.

Del Vitto, L. A. y Petenatti, E. M. (2009). Asteráceas de importancia económica y ambiental: Primera parte. Sinopsis morfológica y taxonómica, importancia ecológica y plantas de interés industrial. *Multequina*, 18: 87-115.

Delgado L., D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, (17): 77-83.

Centro de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD) del IPN (CIIEMA) (2011). Memoria del Estudio Técnico Justificativo para la Declaratoria de Área Natural Protegida a la Sierra del Tentzo. Anexo 2. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Delegación Puebla.

Eltaif, N. I. y Gharaibeh, M. A. (2011). Aplicación de un Modelo Matemático para Predecir y Reducción de la Erosión Eólica en Tierras Áridas no Protegidas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVII: 195-206.

Escandón C., J.; Ordóñez D., J. A. B.; Nieto de pascual P., M. C. y Ordóñez D., M. J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46): 27-53.

Africam Safari 2022. Estación meteorológica. Consultado mayo 2022.

García, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. En: Valladares F. (editor). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: EGRAF, pp: 309-334.

Gardi, C.; Angelini, M.; Barceloó, S., Comerma, J. Gaistardo, C.; Encina, A.; Jones, A.; Krasilnikov, P.; Mendonca, M.; Montanarella, L.; Muñoz, O.; Schad, P.; Vara, M., y Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995, Luxembourg, 176 p.

Geissert, D.; Mólgora T., A.; Negrete Y., S. y Hunte M., R. (2017). Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra. *Agrociencia*, 51(2): 119-133.

Ibáñez A., S.; Moreno, R., H. y Gisbert, B., J., M. (2020). Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c). *Escuela Técnica Superior de*

Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad politécnica de valencia.

INECC (Instituto nacional de ecología y cambio climático. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/467/segura.html>. Consultado el 10 de junio del 2022. <https://www.gob.mx/inecc>

Martínez M., M.; Abadía, R.; Castillo, V. y Albaladejo, J. (2001). Diseño experimental mediante lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante la tormenta. *Rev. C. & G.*, 15(1-2): 31-43.

Martínez de la C., I., Vibrans, H., Lozada P, L., Romero M., A., Aguilera G., L. I. y Rivas M., I. V. (2015). Plantas ruderales del área urbana de Malinalco, Estado de México, México. *Botanical Sciences*, 93(4): 907-919.

Mejía M., J. M. y Espinosa F., A. (2003). *Plantas nativas de México con potencial ornamental*. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco. 217 p.

Melgoza, A.; Ortega, C.; Morales, C.; Jurado, P.; Vélez, C.; Royo, M.; Quintana. G.; Lafón, A.; Alarcón, M.; Bezanilla, G., Pinedo, C. (2007). Propagación de plantas nativas para la recuperación de áreas degradadas: opción para mejorar ecosistemas. *Tecnociencia Chihuahua* 1(3): 38-41.

Molgora T., A. (2013). Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra del centro de Veracruz. Tesis de maestría, Instituto de Ecología (INECOL), Xalapa, Ver. 78 p.

Osuna C., E. S.; Figueroa S., B.; Oleschko, K.; Flores D., M. D. L.; Martínez M., M. R., González C., F. V. (2006). Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *Agrociencia*, 40(1): 27-38.

Osuna O., A. K.; De Jesús D. T., J.; Anda S., J.; Villegas G., E.; Gallardo V., J., Dávila V., G. (2014). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente y agua*, 10(2): 350-362.

- Pacheco R., A. (2008). Cambio espacial de la cobertura edáfica en la región sur de la presa Valsequillo, Puebla. Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. 132 p.
- Rodríguez A., M. (2011). Diversidad de especies vegetales. En: La biodiversidad en Puebla, Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad de Puebla, pp.119-123.
- Rodríguez A., M.; James C., A., Cerón C., B. A. (2014). Flora del estado de Puebla, México. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 175 p.
- Rosatto, H. G.; Laureda, D.; Pérez, D.; Barrera, D.; Meyer, M.; Gamboa, P.; Villalba, G.; Friedrich, M.; Bargiela, M.; Rodríguez P., L.; Calvo, G.; Miranda, M.; Iñigo, M., Quaintenne, E. (2010). Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 42(1): 213-219.
- Sarandón S., J. (2020). Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. 1a ed. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 430 p.
- SEMARNAT 2002. Inventario Nacional de Suelos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- SMN 2023. Estación: 00021071 San Baltazar Tetela. Servicio Meteorológico Nacional.  
[https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales\\_Climatologicas/Normales8110/pue/nor8110\\_21071.TXT](https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Normales8110/pue/nor8110_21071.TXT)
- Vázquez Y., C.; Batis M., A. I.; Alcocer S., M. I.; Gual D., M. y Sánchez D., C. (2016). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. 15 p.
- Yáñez C., L. G.; Pedroza S., A.; Martínez S., M.; Sánchez C., I.; Echavarría C., F. G.; Velásquez V., M. A. y López S., A. (2018). Uso de retenedores de humedad edáfica en la sobrevivencia y crecimiento de dos especies de pastos *Bouteloua*

curtipendula [Michx.] Torr. y Chloris gayana Kunth. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 9(4): 702-718.

Zar, J.H. 2009. Biostatistical analysis. Prentice & Hall. USA. 255 p.

Zegarra T., J. L.; Santos B., J. y De Fátima C., M. (2015). Escurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: un abordaje experimental. Ingeniería. Investigación y Tecnología, 16(1): 35-47.