



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS VERACRUZ**

**POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**DIVERSIDAD DEL BANCO DE SEMILLAS DEL SUELO EN  
DIFERENTES AGROECOSISTEMAS DE PASTOREO EN LA ZONA  
CENTRAL DE VERACRUZ, MÉXICO**

**CARLOS NAHIN CASTRO JOSE**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO.

2018

---

La presente tesis, titulada: **Diversidad del banco de semillas del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo en la zona central de Veracruz, México**, realizada por el alumno: **Carlos Nahin Castro Jose**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

ASESORA:   
DRA. MÓNICA DE LA CRUZ VARGAS MENDOZA

ASESORA:   
DRA. LILIANA ARMIDA ALCUDIA

ASESORA:   
DRA. ANA LID DEL ANGEL PÉREZ

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 15 de octubre de 2018

**DIVERSIDAD DEL BANCO DE SEMILLAS DEL SUELO EN DIFERENTES  
AGROECOSISTEMAS DE PASTOREO EN LA ZONA CENTRAL DE VERACRUZ,  
MÉXICO**

**Carlos Nahin Castro Jose, M.C.**

**Colegio de Postgraduados 2018**

El estado de Veracruz tiene una amplia diversidad de ecosistemas, caracterizados por vegetación tropical. En el centro del estado predomina la selva baja caducifolia, que ha sido remplazada por agroecosistemas ganaderos. Por lo anterior, es importante saber si el Banco de Semillas del Suelo (BSS) puede permitir el restablecimiento de la vegetación a través de la sucesión vegetal. Se cuantifico la riqueza, diversidad y abundancia de especies del BSS en cuatro sitios: Sistema Silvopastoril (Ssp), Sistema de pastizal con árboles (Spa), Sistema de pastoreo tradicional (Spt) y Acahual (Ac). En Loma Iguana, Municipio de La Antigua, Ver, se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-5, > 5-10 cm), usando el método de germinación directa en charolas con seis réplicas por sitio. Se realizaron análisis físicos y químicos del suelo y se evaluó la macrofauna edáfica (Mfe). El BSS se caracterizó en función de: la riqueza, abundancia, diversidad, equidad, dominancia y la similitud. Se calcularon intervalos de confianza del 95 % y pruebas de correlación no paramétricas. La mayor riqueza y abundancia fue a la profundidad de 0 a 5 cm ( $P > 0.05$ ) sin encontrar diferencias entre sitios. La diversidad de especies fue más alta ( $P > 0.05$ ) en el Ssp a la profundidad de 0-5 ( $H' = 2.13$ ) y de 5 a 10 ( $H' = 1.86$ ). Hubo una asociación positiva significativa ( $P < 0.05$ ) entre riqueza, diversidad, densidad de especies germinadas en el Ssp. Además, una relación positiva (0.64) con la abundancia de Mfe. En el Ssp hubo una relación positiva ( $P < 0.05$ ) de la riqueza y diversidad de la vegetación con la riqueza y abundancia de Mfe. El análisis de correspondencias canónicas explico un 25.38 % la relación de todas las variables (vegetación y macrofauna) con el BSS en el Ssp. Se concluye que la mayor diversidad del BSS fue en el Ssp a la profundidad de 0 a 5 cm; que el BSS puede funcionar como elemento para la restauración vegetal, con alta diversidad de especies herbáceas y que la restauración debe ser apoyada con un manejo que propicie el desarrollo de arbustos y árboles, pues, aunque existen fuentes cercanas de semillas, la dominancia de pastos o el sobrepastoreo, pueden limitar su establecimiento.

Palabras clave: ganadería, pastizal, perturbación, sucesión vegetal, restauración.

# **DIVERSITY OF SOIL SEED BANK IN DIFFERENT GRAZING AGROECOSYSTEMS IN THE CENTRAL ZONE OF VERACRUZ, MÉXICO**

**Carlos Nahin Castro Jose, M.C.**

**Colegio de Postgraduados 2018**

The state of Veracruz has a wide diversity of ecosystems, characterized by tropical vegetation. In the center of the state, predominates low deciduous forest, which has been replaced by livestock pastures. Therefore, it is important to know if the soil seed bank (SSB) can allow the restoration of the natural vegetation through succession. The richness, diversity and abundance of the SSB species were quantified in four agroecosystems: Silvopastoral System (Sps), Pasture System with trees (Pts), Traditional grazing system (Tgs) and Acahual (Ac) in Loma Iguana, Municipality of La Antigua. Soil samples were taken at two depths (0-5, > 5-10 cm), using the direct germination method in trays with six replications per site. The soil was analyzed based on physicochemical parameters and the edaphic macrofauna (Emf). The SSB was characterized in terms of: richness, abundance, diversity, equity, dominance and similarity. 95% confidence intervals and nonparametric correlation tests were performed. The greatest richness and abundance was at the depth of 0 to 5 cm ( $P > 0.05$ ) without finding differences among agroecosystems. The diversity of species was higher ( $P > 0.05$ ) in the Ssp at the depth of 0-5 ( $H' = 2.13$ ) and from 5 to 10 ( $H' = 1.86$ ). There was a significant positive association ( $P < 0.05$ ) between richness, diversity, density of species germinated in the Ssp and a positive relationship (0.64) with the abundance of Emf. In the Ssp there was a positive correlation ( $P < 0.05$ ) of the richness and diversity of the vegetation with the richness and abundance of Emf. The analysis of canonical correspondences explained 25.38% the relation of all the variables (vegetation and macrofauna) with the BSS in the Ssp. It is concluded that the greatest diversity of the SSB was in the Ssp at the depth of 0 to 5 cm; that the SSB can function as an element for plant restoration, with a high diversity of herbaceous species and that the restoration should be supported with livestock grazing systems that favor the development of shrubs and trees, because, although there are nearby sources of seeds, dominance of pastures or overgrazing, may limit its establishment.

Keywords: livestock, pasture, disturbance, plant succession, restoration.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermana, pues ustedes son mi mas grande motivo para salir adelante, ustedes son quienes siempre estan en mi mente y a quienes debo todo lo que soy en esta vida.

A mis pequeñas sobrinas Diana Michelle y Mónica Samantha, con las que estoy en deuda por el tiempo que no he pasado a su lado, confío en que aún puedo hacer algo por dejarles un mundo mejor.

A mi familia, por estar a mi lado en esta gran etapa, por apoyarme en todo momento y de forma incondicional, este logro es también suyo...

A la sociedad mexicana, esperando que el trabajo realizado contribuya de alguna forma a mejorar este gran país.

*“Todo lo que afecta a la tierra, afecta a los hijos de la tierra”*

**Jefe Seattle, 1855**

## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, quiero agradecer a aquella energía que nos rodea que llamamos Dios, quien muestra su bondad y grandeza en cada amanecer, en la flor silvestre del campo, en cada semilla que nace, en la gota de lluvia que cae, y quien ha estado conmigo desde el principio de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz, por ser parte fundamental en mi desarrollo, tanto personal como profesional, y también por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias para contribuir en el desarrollo de nuestro México querido.

Al Instituto de Ecología A.C. por las facilidades otorgadas para la determinación taxonómica de las especies vegetales, en especial al Dr. Gonzalo Castillo Campos y al Biol. Carlos Manuel Durán Espinosa por su apoyo en la determinación de las especies vegetales.

A la Dra. Isabelle-Barois Boullard, por su apoyo para la clasificación de la macrofauna edáfica.

Al Dr. Arturo Pérez-Vázquez, profesor consejero, por la confianza brindada para la realización de este trabajo, por sus acertados comentarios y por su enorme sentido de compromiso y responsabilidad.

A la Dra. Ana Lid del Angel-Pérez, asesora, por ser parte fundamental de mi formación en la investigación, por ser inspiración y ejemplo de trabajo y disciplina.

A la Dra. Liliana Armida-Alcudia, asesora, cuyas palabras me hicieron sentir más seguro durante los primeros días dentro del postgrado y quien también siempre creyó en mí.

A la Dra. Mónica de la Cruz Vargas-Mendoza, asesora, por sus acertadas sugerencias para el mejoramiento del trabajo.

Al Dr. Catalino Jorge López-Collado, por sus acertados comentarios para el mejoramiento del presente documento en su papel de sinodal interno.

Al Dr. Martín Alfonso Mendoza Briseño, pues sus conversaciones abrieron en mí un nuevo panorama en cuanto a la situación del mundo actual y me han permitido reconocer la importancia que la constante adquisición de conocimientos representa.

A la I.B.Q. Gabriela S. Zárate Canseco, por todas sus atenciones en la parte administrativa de este trabajo, su apoyo fue sin duda fundamental para cada una de las etapas del mismo.

Al M.C. Jeremias Nataren Velázquez, al Ing. Xicotencatl Cruz Del Ángel y Gabriel Carvajal Ramírez, por su apoyo durante la fase de campo, este trabajo es resultado de su gran esfuerzo.

Al Dr. Andrés Rebolledo Martínez y al Sr. Lorenzo Becerra, por la información proporcionada para la caracterización de los sitios de estudio.

A la Química Nora Aida Hernández Avendaño, por su valioso apoyo y constante disponibilidad para el análisis de suelo

Hay personas con las que particularmente estoy agradecido, pues el conocerlos y ser más que compañeros, amigos, han hecho que esta haya sido una de las mejores etapas de mi vida, me refiero a Nancy, Zayed, Josue, Emmanuel, Cecilio, Eduardo, Clemente, Braulio, Rafita, Nancy Nazario, Ivette. Gracias por los buenos momentos, por las fiestas, y por todas aquellas interesantes conversaciones...

A mi querida amiga Nancy, mujer extraordinaria, con quien he disfrutado al máximo estos dos años, gracias por ser única, por los viajes, las risas y las charlas con café. Gracias por ser mi amiga.

Finalmente, en un mundo global en el que las redes sociales son parte ya de nuestra vida diaria, agradezco a todos aquellos pintorescos miembros del grupo de Facebook “Becarios Conacyt SIN CENSURA” (BCSC), pues muchas de las cosas que en el día a día vemos en esa pequeña gran comunidad, le dan un toque de humor, humanidad y diversión a nuestros ajetreados días de trabajo.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Problema de investigación</b> .....	5
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
<b>2.1. Marco teórico conceptual.</b> .....	6
<b>2.1.1. Teoría General de Sistemas (TGS)</b> .....	6
<b>2.1.2. Aplicaciones de la TGS en la agricultura</b> .....	7
<b>2.1.3. Enfoques y evolución de la TGS</b> .....	8
<b>2.1.4. Agroecosistemas: conceptos y enfoques</b> .....	12
<b>2.1.5. El análisis de agroecosistemas</b> .....	15
<b>2.1.6. Suelo</b> .....	16
<b>2.1.7. Banco de semillas</b> .....	16
<b>2.1.8. Los agroecosistemas y el banco de semillas</b> .....	18
<b>2.1.9. Ecología del banco de semillas</b> .....	18
<b>2.1.10. Factores que inciden en el banco de semillas</b> .....	20
<b>2.1.11. Características ecofisiológicas de las semillas</b> .....	20
<b>2.1.12. Efecto de la temperatura sobre la latencia y germinación de las semillas</b> .....	21
<b>2.1.13. Factores que afectan el banco de semillas</b> .....	22
<b>2.1.14. Efecto del agua (lluvia) en la dormancia y germinación de semillas</b> .....	24
<b>2.2. Marco Teórico Referencial</b> .....	25
<b>2.2.1. Estudios realizados sobre el banco de semillas</b> .....	25
<b>2.2.1.1. Ambientes no tropicales</b> .....	25
<b>2.2.1.2. Ambientes tropicales</b> .....	26
<b>3. HIPÓTESIS Y OBJETIVO</b> .....	28
<b>3.1. Hipótesis</b> .....	28

3.2. Objetivo .....	28
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
4.1. Tipo y enfoque de estudio .....	28
4.2. Diseño de la investigación .....	28
4.2.1. Método de estudio del banco de semillas del suelo .....	29
4.3. Área de estudio .....	30
4.4 Descripción de los sitios de estudio .....	31
4.4.1. Sistema silvopastoril (Ssp) .....	31
4.4.2. Sistema de pastizal con arboles y vegetación natural (Spa).....	33
4.4.3. Sistema de pastoreo tradicional (Spt) .....	34
4.4.4. Acahual (Ac) .....	35
4.5. Toma de muestras del banco de semillas del suelo.....	36
4.6. Caracterización de los sitios de estudio .....	37
4.6.1. Variables edáficas.....	37
4.6.1.1. Físicas .....	37
4.6.1.2. Químicas.....	37
4.6.1.3. Biológicas: Determinación de macrofauna edáfica .....	38
4.6.2. Manejo agronómico.....	39
4.7. Análisis de los datos.....	39
4.7.1. Diversidad del banco de semillas.....	40
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
5.1. Características físicas y químicas del suelo en los agroecosistemas en estudio.....	44
5.2 Características biológicas del suelo en los agroecosistemas en estudio .....	45
5.3. Actividades de manejo en los diferentes agroecosistemas de pastoreo.....	47
5.4. Banco de semillas.....	50
5.4.1. Germinación.....	50

5.4.2. Riqueza de especies y familias .....	51
5.4.3. Principales tipos de especies vegetales germinadas en el banco de semillas del suelo.....	54
5.4.4. Principales especies germinadas para cada uno de los agroecosistemas .....	55
5.4.5. Similitud del banco de semillas del suelo entre cada uno de los agroecosistemas de pastoreo estudiados .....	58
5.4.6 Formas de vida.....	59
5.4.7. Abundancia relativa de las principales especies presentes en el banco de semillas.....	60
5.4.8. Densidad de semillas germinadas en los cuatro diferentes agroecosistemas.....	63
5.4.9. Indicadores de diversidad vegetal en cuatro agroecosistemas de pastoreo .....	64
5.4.10. Análisis de componentes principales basado en los indicadores de diversidad del banco de semillas del suelo para cada uno de los cuatro ecosistemas de pastoreo. Profundidad 0-5 cm. ....	67
5.4.11. Análisis de componentes principales basado en los indicadores de diversidad del banco de semillas del suelo para cada uno de los cuatro ecosistemas de pastoreo. Profundidad >5-10 cm.....	69
5.4.12. Análisis de componentes principales basado en los indicadores de biodiversidad del banco de semillas del suelo para cada uno de los cuatro ecosistemas de pastoreo. Profundidad 0-10cm. ....	71
5.4.13. Correlación entre la diversidad de la vegetación del banco de semillas y las características biológicas del suelo y los diferentes agroecosistemas de pastoreo. ....	72
5.4.14. Riqueza y diversidad del banco de semillas del suelo de cuatro agroecosistemas. ....	73
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>75</b>
6.1. Características físicas y químicas del suelo en los agroecosistemas en estudio.....	75
6.2. Indicadores de biodiversidad para la macrofauna edáfica en cuatro diferentes agroecosistemas de pastoreo .....	76
6.3. Parametros climáticos .....	80
6.4. Manejo de los agroecosistemas.....	81
6.5. Familias y especies identificadas en el banco de semillas en diferentes agroecosistemas .....	82

<b>6.5.1. Abundancia total de especies en los diferentes agroecosistemas .....</b>	<b>87</b>
<b>6.5.2. Indicadores de diversidad para el banco de semillas del suelo de diferentes agroecosistemas de pastoreo .....</b>	<b>90</b>
<b>6.5.3. Equidad y dominancia en el banco de semillas del suelo de cuatro diferentes agroecosistemas de pastoreo .....</b>	<b>92</b>
<b>6.5.4. Similitud del banco de semillas en cuatro diferentes agroecosistemas de pastoreo.....</b>	<b>94</b>
<b>6.5.5. Características del banco de semillas del suelo de cuatro agroecosistemas de pastoreo...</b>	<b>96</b>
<b>6.6. Contratación de hipótesis .....</b>	<b>98</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>8. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>100</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>113</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1. Diferentes definiciones para el banco de semillas del suelo .....</b>	<b>17</b>
<b>Cuadro 2. Análisis y métodos empleados para determinar las características físicas y químicas del suelo. ....</b>	<b>38</b>
<b>Cuadro 3. Características físicas y químicas del suelo de los diferentes agroecosistemas en estudio</b>	<b>45</b>
<b>Cuadro 4. Indicadores de biodiversidad para la macrofauna del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo .....</b>	<b>46</b>
<b>Cuadro 5. Total de ordenes encontradas en cada sitio a las diferentes profundidades del suelo.....</b>	<b>47</b>
<b>Cuadro 6. Relación del banco de semillas con las principales actividades de manejo agrícolas realizadas en los agroecosistemas estudiados.....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 7. Total de familias y especies vegetales identificadas en el banco de semillas del suelo .....</b>	<b>51</b>
<b>Cuadro 8. Riqueza de especies vegetales del banco de semillas en cuatro diferentes sistemas de pastoreo a las diferentes profundidades del suelo. ....</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 9. Abundancia promedio de especies vegetales del banco de semillas en cuatro diferentes sistemas de pastoreo a las diferentes profundidades del suelo .....</b>	<b>53</b>
<b>Cuadro 10. Total de monocotiledóneas y dicotiledóneas en los cuatro sistemas de pastoreo estudiados.....</b>	<b>54</b>
<b>Cuadro 11. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en el sistema silvopastoril a las dos profundidades.....</b>	<b>55</b>
<b>Cuadro 12. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en el sistema de pastizal con árboles a las dos profundidades. ....</b>	<b>56</b>
<b>Cuadro 13. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en un sistema de pastoreo tradicional.....</b>	<b>57</b>
<b>Cuadro 14. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en un acahual .....</b>	<b>57</b>
<b>Cuadro 15. Similitud del banco de semillas del suelo basado en el Índice de Sorensen para la profundidad 0-5 cm .....</b>	<b>58</b>
<b>Cuadro 16. Similitud del banco de semillas del suelo basado en el Índice de Sorensen para la profundidad &gt; 5-10 cm.....</b>	<b>58</b>
<b>Cuadro 17. Similitud del banco de semillas del suelo basado en el Índice de Sorensen para la profundidad de 0-10 cm .....</b>	<b>59</b>
<b>Cuadro 18. Valor promedio de la densidad de semillas germinadas /m<sup>2</sup> a dos profundidades del suelo de cuatro diferentes agroecosistemas .....</b>	<b>63</b>

<b>Cuadro 19. Indicadores de biodiversidad para el banco de semillas del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo.....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 20. Coeficiente de correlación para riqueza, densidad y diversidad de especies vegetales germinadas.....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro 21. Cosenos cuadrados de las variables para cada uno de los ejes que explican la variabilidad de los datos correspondientes a la profundidad de 0-5cm .....</b>	<b>68</b>
<b>Cuadro 22. Cosenos cuadrados de las variables para cada uno de los ejes que explican la variabilidad de los datos correspondientes a la profundidad de 5&gt;10.....</b>	<b>70</b>
<b>Cuadro 23. Cosenos cuadrados de las variables para cada uno de los ejes que explican la variabilidad de los datos correspondientes a la profundidad de 0&gt;10.....</b>	<b>72</b>
<b>Cuadro 24. Valores del coeficiente de correlación para las variables relacionadas a la diversidad de especies vegetales y la macrofauna del suelo en los diferentes agroecosistemas de estudio. Profundidad de 0-5 y &gt; 5-10 cm .....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. . Proceso seguido para la caracterización del banco de semillas del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2. Ubicación de los diferentes agroecosistemas de pastoreo y del acahual en estudio en la comunidad rural de Loma Iguana, Municipio de La Antigua, Ver.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3. Vista general del sistema silvopastoril con árboles maderables. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 4. Sistema de pastizal con árboles característicos de la vegetación natural, con árboles conocidos como “Quebrache” (Diphysa robinoides Benth). ....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 5. Vista general del sistema de pastoreo tradicional.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 6. Vista general del interior de la zona de acahual. ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 7. Valores promedio mensuales de temperatura y humedad relativa, así como el total de semillas germinadas durante las observaciones del banco de semillas del suelo. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 8. Abundancia de semillas en cada uno de los sitios a las diferentes profundidades en donde se realizaron las observaciones. Los datos fueron convertidos a logaritmo base 10 para su análisis.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 9. Principales especies encontradas en el banco de semillas del suelo a la profundidad de 0-5 cm.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 10. . Principales especies encontradas en el banco de semillas del suelo a la profundidad de &gt;5-10 cm. ....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 11. Agroecosistemas de pastoreo diferenciados a través de los índices de diversidad de especies vegetales y macrofauna edáfica. Profundidad 0&gt;5. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 12. Agroecosistemas de pastoreo diferenciados a través de los índices de diversidad de especies vegetales y macrofauna edáfica. Profundidad 5&gt;10. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 13. Agroecosistemas de pastoreo diferenciados a través de los índices de diversidad de especies vegetales y macrofauna edáfica. Profundidad 0-10. ....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 14. Principales especies vegetales y variables que caracterizan al banco de semillas del suelo de cuatro diferentes sistemas de pastoreo. ....</b>	<b>74</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

México es considerado uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo (Villaseñor *et al.*, 2005; Plascencia *et al.*, 2011), esto como resultado de sus variadas condiciones orográficas que hacen que en su territorio se presente una gran variedad de climas que pueden variar significativamente en distancias relativamente cortas. Así pues, en el sureste de México se pueden presentar climas que van desde los tropicales (húmedos y subhúmedos), hasta los climas fríos en la alta montaña (de pino-encino y de coníferas), y en la parte intermedia ecosistemas como el bosque mesófilo de montaña, de acuerdo al gradiente altitudinal (Castillo *et al.*, 2011). Estas variaciones edafoclimáticas y de vegetación generan una gran cantidad de endemismos vegetales y faunísticos en los distintos nichos ecológicos que se conforman, teniendo así altos niveles de biodiversidad (Jiménez *et al.*, 2010). El estado de Veracruz puede considerarse un ejemplo claro, ya que presenta prácticamente todos los climas que se han descrito para México y esto lo coloca como uno de los estados con mayor riqueza biológica (Guevara *et al.*, 2004). Sin embargo, es también uno de los estados más afectados por las actividades antrópicas, particularmente las relacionadas con el cambio de uso de suelo, como son las encaminadas al desarrollo de la agricultura, la ganadería y las explotaciones forestales (Toledo, 1994). Para estas actividades primarias se destinan grandes extensiones de tierra, como pueden ser las llanuras, en las partes bajas, o terrenos con pendientes pronunciadas en laderas de montaña, esta última afectada por los procesos de erosión causados principalmente por los escurrimientos de agua que arrastran el suelo, llevando consigo la cubierta superior rica en materia orgánica y nutrientes minerales (Ulloa, 2013). Así, la ampliación de la frontera agropecuaria compromete extensas áreas de terreno, el cual es desprovisto de la cubierta vegetal original, y consecuentemente se eliminan hierbas, árboles y arbustos (Guevara *et al.*, 2005). El cambio de uso de suelo implica la quema de la vegetación y de los residuos vegetales para dar paso al establecimiento de monocultivos y praderas con gramíneas, especies generalmente exóticas, lo que conduce a la denominada simplificación del paisaje (Travieso *et al.*, 2005; Del Angel *et al.*, 2006). Esta pérdida de biomasa sobre el suelo, aunada a la elevada carga de pastoreo derivada de una ganadería con manejo inadecuado, reduce la infiltración del agua y limita el crecimiento de las plantas (Murgueitio y Calle, 1999; Guevara y Moreno, 2008; Van Langevelde *et al.*, 2016).

Por otro lado, se ha estimado que el cambio climático tiene y tendrá en el futuro, un efecto importante en los ecosistemas, no sólo por una mayor ocurrencia de eventos extremos sino por el

conjunto de ellos como un todo (Villers y Trejo, 1998; Yáñez *et al.*, 1998). Estos cambios no sólo afectarán severamente la distribución actual y natural de la vegetación, sino también tendrán un efecto importante en el banco de semillas del suelo (Walck *et al.*, 2011; Ooi, 2012; Equihua *et al.*, 2016). Las variaciones extremas de los efectos del cambio climático pueden modificar la supervivencia del banco de semillas del suelo y en consecuencia las comunidades y poblaciones vegetales locales (Ooi *et al.*, 2009; Middleton y McKee, 2011; Plue *et al.*, 2013). Sin embargo, cabe resaltar que el impacto del cambio climático en el banco de semillas en agroecosistemas tropicales ha recibido poca atención, tal vez por lo complejo y laborioso que resulta su cuantificación y monitoreo (Gioria y Osborne, 2009). El banco de semillas del suelo puede entenderse como la agregación de semillas que aún no germinan, con potencial para establecerse y formar parte de la vegetación en pie y está relacionado con los diferentes microhabitats que se encuentran en un tipo de vegetación particular, su importancia es crucial ya que permite la estabilidad y persistencia de la vegetación a lo largo del tiempo (Cano *et al.*, 2012) y son un componente importante de la resiliencia de los ecosistemas (Wang *et al.*, 2013; Ge *et al.*, 2013). Junto a la diversidad de especies que lo integran son el material primigenio en los procesos de sucesión vegetal (Cui *et al.*, 2016). Los bancos de semillas en el suelo o de la superficie del mismo representan reservas de propágulos que determinan la dinámica de muchos tipos de comunidades vegetales (Thompson y Grime, 1979; Rees *et al.*, 2002).

El cambio de uso de suelo para la producción agrícola industrial impacta fuertemente en la estructura de la vegetación e incide directamente tanto en la vegetación nativa, como en la que se encuentra resguardada en el banco de semillas del suelo, donde la deforestación es uno de los factores que mayormente contribuye a la emisión de gases efecto invernadero y en el cambio del clima a nivel global (Santilli *et al.*, 2005). Este reservorio de semillas es afectado también por prácticas agrícolas como el uso excesivo de maquinaria, el fuego o la quema de la cubierta vegetal y residuos de cosechas, así como la constante aplicación de herbicidas (Smith *et al.*, 2016; Santín *et al.*, 2016; Cárdenas *et al.*, 2002). Lo anterior, pone en riesgo recursos vegetales que han sido utilizados a lo largo de la historia como fuente de alimento, por ejemplo, los “quelites”, son cada vez menos frecuentes en los campos agrícolas debido al uso de constante de herbicidas (Gamboa y Pohlen.,1997; Vázquez *et al.*, 2004; Cilia *et al.*, 2015).

La ganadería por su parte, contribuye a una reducción significativa de la diversidad vegetal y por ende en el banco de semillas (Dreber y Esler, 2011), particularmente por la eliminación de la vegetación para el desarrollo de pastizales utilizados en el sistema ganadero extensivo (Winkel y Roundy, 1991; Loening y Markussen, 2003). Además, la dominancia, la capacidad para producir una alta cantidad de biomasa, el rápido crecimiento y la generación de condiciones microclimáticas en el suelo como altas temperaturas y humedad, no permiten el establecimiento de otras especies al interferir en la germinación de las semillas al interior de las pasturas (Ortega *et al.*, 2011). A la par, los procesos de dispersión de semillas como la zoocoria, realizada principalmente por aves, aunque también por otro tipo de fauna, se ve reducida o eliminada, al no existir algún tipo de percha en la cual puedan posarse, que en el mejor de los casos pudieran ser diferentes tipos de árboles o arbustos, y en su caso buscan otros lugares reduciendo el establecimiento de nuevas semillas y plantulas (Guevara *et al.*, 2005).

Por tanto, el banco de semillas es considerado un factor importante en la regeneración de comunidades después de disturbios naturales o antropogénicos (Thompson, 1992; Quintana *et al.*, 1996). Lo anterior hace énfasis en como la eliminación de la estructura vegetal y el establecimiento de los pastos reduce la germinación y el arribo de semillas a la zona. Sin embargo, para el caso de sistemas de producción pecuaria -caso particular el de bovinos- el factor semoviente parece ser determinante en la sucesión vegetal y en la resiliencia de los paisajes ganaderos (Cingolani *et al.*, 2008). En ocasiones el elevado número de cabezas de ganado que se mantienen en las zonas de pastoreo, superan la capacidad de carga del potrero, lo que genera situaciones de pisoteo constante que contribuyen a la compactación del suelo, afectando la estructura física y biológica del mismo (Winkel y Roundy, 1991; Denoia *et al.*, 2011). Normalmente en un suelo compactado se reducen los espacios entre partículas del suelo y por consiguiente la disponibilidad de oxígeno para algunos microorganismos. A nivel macro, la biota edáfica se ve afectada de manera similar al reducirse sus áreas de desarrollo. El pisoteo y la elevada carga animal, junto al consumo selectivo de especies presentes en los pastizales por parte del ganado, reduce las condiciones para el establecimiento, germinación, crecimiento y desarrollo de especies diferentes a las gramíneas, al grado de que pueden presentarse parajes en los que hay una ausencia total de hierbas, arbustos y árboles, así como un sobreconsumo de los pastos que en ocasiones no logran producir suficiente biomasa para alimentar al ganado (Cingolani *et al.*, 2008).

En ambos casos, tanto en la actividad agrícola y ganadera, el uso de agroquímicos sin un control adecuado conlleva a la incorporación de sustancias químicas al ecosistema, que afectan o dañan la estructura física y química del suelo, así como la diversidad animal y vegetal a nivel macro y microscópico, lo cual provoca impactos ambientales que afectan los diferentes niveles de la cadena trófica, llegando incluso hasta zonas muy alejadas de donde se originaron (Lumaret y Martínez, 2005; Martínez y Cruz, 2009 Smith *et al.*, 2016;).

Generalmente, en el límite de las zonas agrícolas y ganaderas existen áreas que conservan aun vegetación en su estado original, algunas otras, como terrenos en los que se ha detenido el uso agropecuario, ha comenzado la regeneración de la vegetación, en sus diferentes etapas de sucesión secundaria (Martínez y García, 2007). Estas zonas de vegetación natural, también conocidas como acahuales o tacotales junto con las “islas” de vegetación original, funcionan como fuente de propágulos y semillas que por diferentes mecanismos pueden establecerse en los potreros o campos de cultivo. Este tipo de parches de vegetación apoyan la conservación de la biodiversidad al funcionar como hábitat, sitios de alimentación, percha o como corredores biológicos para plantas y animales (Guevara, 2004; Muñiz *et al.*, 2006; Ibrahim *et al.*, 2007), y a partir de estos es posible el enriquecimiento del banco de semillas presente en el suelo.

No solo las actividades productivas antrópicas impactan a los ecosistemas, otro aspecto que está generando un amplio debate en reuniones científicas y representa un asunto de prioridad es el relacionado al cambio climático, el cual, está modificando tanto el ambiente como la forma de vida, y puede tener repercusiones como la pérdida del hábitat y por consiguiente un mayor impacto sobre la biodiversidad a nivel mundial (Dantas, 2015; Mantyka *et al.*, 2015). Actualmente el cambio climático, se presenta como uno de los retos que enfrenta la humanidad, siendo principalmente las variaciones extremas en cuanto a los patrones de temperatura y precipitación las que representan una amenaza potencial no sólo para poblaciones vegetales alrededor del mundo sino también para los paisajes relativamente intactos, donde la heterogeneidad del paisaje es baja. En estos últimos se pueden desencadenar situaciones en donde las diferentes especies tienen que recorrer largas distancias para encontrar condiciones climáticas ideales (Mantyka *et al.*, 2015; Segan *et al.*, 2016; Young *et al.*, 2016). Autores como Ding y Nunes (2014) y Ferranini *et al.* (2016) coinciden en que, con el fin de fortalecer el establecimiento de acciones y políticas que permitan la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, se requieren de nuevos modelos que ayuden a

predecir los posibles impactos sobre la biodiversidad. En otras palabras, generar conocimiento respecto al banco de semillas del suelo, y su relación con la vegetación primaria, sus diferentes estadios sucesionales o con el manejo de los espacios agropecuarios es esencial para comprender los efectos de las actividades antrópicas en el banco de semillas y a la vez plantear estrategias apropiadas para restaurar la vegetación.

Por lo anterior, y tomando en cuenta los efectos derivados del cambio de uso del suelo en los ecosistemas, que han llevado a una modificación parcial o total de la vegetación en pie y posiblemente afectaciones al banco de semillas del suelo, aunado al manejo agronómico y pecuario intensivo de los mismos que pone en riesgo la posible recuperación de la vegetación original. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar la riqueza y diversidad de especies vegetales del banco de semillas en función de las actividades de manejo en los agroecosistemas, así como de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en agroecosistemas ganaderos característicos de la zona centro de Veracruz.

### **1.1. Problema de investigación**

Por lo anterior, se reconoce que el cambio de uso de suelo, así como las actividades de manejo realizadas al interior de los sistemas de pastoreo afectan la vegetación original, el banco de semillas del suelo y en consecuencia los procesos de sucesión vegetal y la biodiversidad. A fin de conocer el estado actual de la vegetación resguardada en el banco de semillas del suelo en diferentes sistemas de pastoreo, el presente trabajo busca dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la relación existente entre diferentes agroecosistemas ganaderos y las características de calidad del suelo sobre la riqueza y diversidad del banco de semillas?

## **2. MARCO TEÓRICO**

El banco de semillas del suelo de los agroecosistemas es un componente fundamental de su dinámica. Se concibe como un subsistema interrelacionado con los otros componentes del agroecosistema, que puede determinar la continuidad de las funciones ambientales normales de la vegetación natural, y contribuye a la conservación de la biodiversidad vegetal en los ecosistemas característicos de la zona de estudio. Además, desde las bases teóricas se intenta explicar como el banco de semillas puede ayudar a entender mejor la dinámica de la regeneración forestal en zonas de cultivo altamente intervenidas por el ser humano o bajo manejo agropecuario intensivo. El concepto de agroecosistema fundamentado en la teoría general de sistemas, se empleo en la presente investigación de tal forma que se pudiera apreciar al banco de semillas como un elemento inmerso en un conjunto de distintos factores que interactúan entre si, y que pueden determinar sus características actuales. Por lo anterior se asume que desde una visión de agroecosistemas, el banco de semillas es parte de un entramado donde cada uno de sus elementos influyen entre si y donde lograr la comprensión de este seria difícil si se abordara de forma individual.

### **2.1. Marco teórico conceptual.**

#### **2.1.1. Teoría General de Sistemas (TGS)**

Uno de los principales impulsores de la Teoría General de Sistemas, es el biólogo Ludwig Von Bertalanffy, quien en el año de 1976 expone dicha teoría y señala que en todos los campos del conocimiento es posible encontrarse ante situaciones complejas viéndolas como “totalidades” o “sistemas”, lo que por sí mismo implica una reestructuración del pensamiento científico y un nuevo paradigma de cómo ver y estudiar la realidad.

Actualmente y bajo esta situación, son diversos los ámbitos en los que puede plantearse un enfoque desde la TGS, por ejemplo, en biología. El autor señala que fenómenos relacionados con la estructura celular y sus procesos bioquímicos, deben visualizar los niveles superiores de organización viva que influyen en los niveles más basales. De igual forma, los fenómenos sociales deberían abordarse con el mismo enfoque, pese a las diferentes definiciones actuales de los sistemas socioculturales. Para Von Bertalanffy, la TGS debería constituirse como un mecanismo que integre a las ciencias naturales y sociales, siendo al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos. Básicamente la TGS surge por la necesidad de enfrentar problemas teóricos, especialmente en las ciencias biosociales y a los problemas prácticos generados

por la tecnología moderna, ya que los esquemas mecanicistas y de vías causales aislables, así como la enumeración y descripción de cada uno de sus componentes resultaban insuficientes para enfrentarse a los problemas teóricos (Bertalanffy, 1976).

Arnold y Osorio (1998) definen a los sistemas como “conjuntos de elementos que guardan estrechas relaciones entre sí, que mantienen al sistema directa o indirectamente unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo”.

En la literatura existen diferentes definiciones del concepto de sistemas, presentándose también dos líneas de pensamiento, la primera por Bertalanffy y continuada por Boulding en la que señalan que el esfuerzo central de esta es llegar a la integración de las ciencias. El segundo, bastante más práctico, se conoce con el nombre de “ingeniería de sistemas” (Johansen, 1993). Otras definiciones del concepto de sistema expresadas por Johansen (op cit), y de acuerdo con otros autores coinciden, en definir al sistema como un “conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos”. Por otro lado, menciona otra definición que agrega algunas características adicionales señalando que “un sistema es un grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo o que se encuentran bajo la influencia de fuerzas en alguna relación definida”.

Johansen (op cit) considera de manera general que las principales características de un sistema, siendo este abierto son: su corriente de entrada, su proceso de conversión, su corriente de salida, y como elemento de control, la comunicación de retroalimentación.

Malagón y Prager (2001) por su parte, establecen como características básicas de los sistemas la sinergia, la recursividad, la jerarquía y la homeostasis.

### **2.1.2. Aplicaciones de la TGS en la agricultura**

Considerando que la TGS es una forma de representar los procesos que ocurren en diferentes aspectos de la vida diaria, de tal manera que se desprende totalmente del enfoque reduccionista para lograr una mayor comprensión de cada una de las partes y procesos que integran los diversos sistemas, las aplicaciones de dicha teoría pueden ser útiles para el análisis la agricultura y sus diferentes sistemas de producción, como se indica a continuación.

Para Schiere (2004) la TGS provee un conjunto de conceptos y herramientas para una mejor comprensión del complejo desarrollo de la agricultura y la sociedad, teniendo como ejemplo la investigación de sistemas agrícolas, este por sí mismo es un sistema adicional.

De acuerdo a Malagón y Prager (2001) el enfoque de sistemas en la agricultura tiene como objetivo central la realización de un análisis integral de los problemas y causas que los originan, de tal manera que se puedan identificar las soluciones más adecuadas para la práctica de una agricultura que considere el potencial del ambiente, los recursos del agricultor, así como sus expectativas y anhelos. Por lo anterior, la TGS busca la inserción de un nuevo enfoque que permita la integración de diferentes disciplinas para que a través del análisis de una situación en particular se consideren distintos aspectos de esta, como pueden ser los biofísicos, socioculturales y económicos que forman parte de los escenarios reales dentro de los sistemas de producción agrícola.

La TGS contribuye a una representación adecuada de los sistemas agrícolas, sus componentes e interacciones, ya que estos últimos, son en sí una interacción compleja entre procesos sociales externos e internos, así como entre procesos biológicos y ambientales (Hecht, 1999).

### **2.1.3. Enfoques y evolución de la TGS**

El desarrollo de una teoría que pudiera integrar los elementos que conforman un sistema, del tipo que sea, se ha desarrollado ampliamente desde inicios del siglo pasado, a fin de comprender la aportación y la interacción que tienen los elementos en el todo, la importancia y enfoques de la TGS ha sido abordada por diferentes autores, a continuación, se mencionan los más conspicuos.

Boulding (1956) señalaba que el objetivo principal de la TGS era establecer las relaciones generales del mundo empírico sin considerar que esta teoría pudiera contemplarse como una “teoría general de prácticamente cualquier cosa” o que fuera capaz de sustituir a las teorías especiales de disciplinas particulares. La necesidad de una TGS se ve acentuada por la situación sociológica en la ciencia, donde el conocimiento es una función de organismos humanos y de organización social en donde surge una crisis por la dificultad de comunicarse entre científicos como un todo y donde el intercambio de conocimientos entre las diferentes disciplinas resulta muy difícil.

La TGS busca brindar un panorama más amplio a fin de que las personas tengan la capacidad y la apertura a temas con los que no están familiarizados, y que al mismo tiempo puedan establecer a través de un marco de referencia que le permita tomar y comprender la información relevante de otros.

Para Boulding (op cit) existen dos posibles enfoques de la organización de la TGS, los cuales deben considerarse como complementarios más que competitivos, o por lo menos como dos formas que vale la pena explorar, siendo los siguientes:

- 1) Consiste en observar más allá del universo empírico e identificar ciertos fenómenos particulares que se encuentran en las diferentes disciplinas y con ello poder estructurar modelos teóricos generales que sean relevantes para dicho fenómeno.
- 2) Busca organizar los campos empíricos en una organización jerárquica de complejidad de los “individuos” básicos o unidades de comportamiento y a partir de esto tratar de desarrollar un nivel de abstracción para cada uno.

Ejemplos al respecto se pueden observar en los diferentes fenómenos que suceden a diario, por mencionar algunos, el crecimiento de una planta comparado con el crecimiento de un animal, en ambos casos el crecimiento se presenta bajo diferentes procesos bioquímicos y con características estructurales específicas, pero que para ambos implican el aumento de tamaño de los organismos. Por otra parte, en cuanto al establecimiento de una jerarquía en los sistemas, estos pueden visualizarse a través del orden que toman sus componentes, en una planta por ejemplo, una célula fotosintética puede estar desarrollando el proceso de convertir la luz en energía que ayuda en el proceso de generación de biomasa, este proceso, aunque pudiera parecer aislado no lo es, está inmerso en otro complejo de componentes que realizan al mismo tiempo otro tipo de proceso del que probablemente la célula mencionada se ve favorecida en cierto grado.

Bertalanffy (1976) establece a la TGS como un “complejo de componente interactuantes” en donde los conceptos que la integran forman parte de totalidades organizadas que pueden ser aplicables a diferentes fenómenos concretos. La aplicación de la TGS a procesos relacionados al ámbito agropecuario permite una visión más amplia de aquellos componentes que determinan un adecuado funcionamiento, en el entendido de que estos no se desarrollan de forma lineal, si no que implican una condición multifactorial que incide en mayor o menor medida en los resultados obtenidos, los alcances de dicha teoría para explicar los fenómenos, de acuerdo al autor, no está limitada a entidades materiales, es capaz por sí misma, dada la inherente complejidad que representa, de ser aplicable a cualquier totalidad que esté constituida de “componentes” que interactúen.

Rapoport (op cit) sugería que, al buscar una definición de TGS, se pueden encontrar divergencias de la definición del termino sistemas, en los criterios de clasificación, así como en la evaluación del enfoque sistémico.

Existen amplias diferencias en el énfasis de los diferentes beneficios esperados a partir de la TGS, son estas mismas diferencias las que parecen ser más apropiadas para comenzar más allá de la exposición de la TGS y poder clarificar el origen de los diferentes puntos de vista.

Rapoport (1986) sugirió que los diferentes puntos de vista a los que se ve sujeta la TGS derivan en parte por problemas de epistemología y orientaciones de valor, por lo que atendía a una clasificación de enfoques de dos dimensiones de la teoría general de sistemas, un eje representado por la dimensión analítica-holista y otro la descriptiva-normativa, representando las diferentes posiciones epistemológicas y las diferentes orientaciones de valor respectivamente. Estas se describen a continuación:

El método analítico pretende proveer la comprensión de algún objeto, fenómeno, o proceso a través del análisis de las partes que la constituyen. Por ello es importante considerar que desde que se hace mención de la palabra “método” se designa de forma implícita un enfoque analítico y desde que un “método” es usualmente definido en términos de procedimientos, secuencias de procedimientos bien definidos, cuyo fin es la adquisición de conocimiento. Por estas características se considera inapropiado hablar de un “método holístico”, el enfoque holístico por sí mismo no se basa en el análisis, sino que considera el todo, llamando a esto reconocimiento.

Siguiendo lo mencionado por Rapoport (1986), dentro de una visión holística de las diferentes ciencias, en el caso de la biología, sugiere que los fundamentos de este enfoque están basados en el concepto de *organismo* reconocido como un “todo”. Por otra parte, en el caso de la genética, desarrollada mucho tiempo después, representa un ejemplo típico del enfoque analítico, como un intento de relacionar la apariencia física u otros aspectos de los individuos a un complejo de unidades atómicas denominadas genes, que se supone son determinantes para las características generales. La fisiología, cuyo énfasis recae sobre los detalles de los procesos vivientes dentro de un organismo individual representa también un enfoque analítico

Otro caso en donde se distingue una separación entre los enfoques analítico y holista es en la economía clásica y en la política económica, en la primera se identifican elementos tales como

“compradores, “vendedores” “productores” “consumidores, entre otros., mientras que en la segunda donde generalmente las políticas económicas desarrolladas son la esencia del enfoque holístico, generado a partir de variables que describen el estado del sistema económico como un todo, son generalmente las decisiones determinantes de política económica. En síntesis y basado en lo anterior, el autor señala que, para la mentalidad social analítica de los científicos, la gran mayoría de las configuraciones sociales son resultado de acciones e interacciones de muchas unidades elementarías o procesos, en donde las acciones de los individuos y los cursos seguidos por los procesos sociales son guiados por las restricciones impuestas por una cultura o sociedad que es vista como un todo.

En el sentido de la dimensión de valor, este representa las diferencias ente los puntos de vista de conocimiento como respuestas a las preguntas “¿cómo?” y “¿para qué? Al final de la escala normativa están las concepciones de sistemas como entidades que existen para algo y son estos objetivos los que están en el centro de interés.

Antiguamente, ciertos fenómenos comunes fueron explicados bajo un enfoque normativo, por ejemplo, el movimiento se da bajo el supuesto del comportamiento en la búsqueda de un objetivo, lo cual también era aplicado a objetos inanimados, siendo estas explicaciones teleológicas sobre el movimiento, totalmente descartadas en la mecánica basada en el análisis de fuerzas actuando sobre cuerpos en movimiento.

La dicotomía descriptiva-normativa es especialmente clara en la teoría de la organización, el sentido clásico de esta teoría conduce a que de manera implícita está externamente impuesto un objetivo que fue el centro de interés., esta teoría ha sido fuertemente orientada hacia el problema del diseño óptimo, que contempla aspectos como la estructura de la organización, definido por la red de comunicación, autoridad y subordinación, lo cual podría presuntamente conducir a la organización hacia el desarrollo de cierta tarea de manera más eficiente. El enfoque a una teoría general de sistemas tomado por el autor fue un intento de integrar lo analítico y lo holístico, los normativos y descriptivos puntos de vista, siendo su objetivo principal, mostrar más allá de una incompatibilidad, que la complementación entre estos puntos de vista revelan distintos aspectos de un enfoque unificado a la teoría de sistemas.

Valdés (1999) menciona a Bertalanffy como uno de los pioneros de la TGS, quien empleando la lógica aristotélica y a fin de buscar una explicación a algunos problemas de tipo biológico desde

este enfoque sugería que para lograr cierto nivel de comprensión de la conducta de los organismos deben considerarse como un todo, con una meta en común y en la que cada uno de los componentes trabajen de forma interrelacionada e interactúen constantemente

Dekkers (2015) indica que, para el análisis de la estructura y comportamiento de un sistema, existen dos puntos de salida, además de los conceptos de subsistemas y aspectos de sistemas:

- El conjunto (sistema)
- Los elementos y las relaciones (principalmente los internos)

Sin embargo, cuando se inicia con los elementos un estudio, se encontrará con el problema de que no es posible distinguir claramente la relación que tiene el sistema con el ambiente, esto podría llevar a considerar al sistema como cerrado e ignorar la interacción con el exterior.

A pesar de lo anterior, al autor señala que la relación que existe con el ambiente determina fuertemente los requerimientos impuestos sobre los subsistemas y los elementos en caso de abrir los sistemas, que es lo que sucede en la mayoría de los casos, por lo anterior considera dos enfoques para el análisis de los sistemas, tomando en cuenta el conjunto (sistema) y las relaciones entre los elementos que lo componen, los planteados por el autor son el enfoque de la caja negra y el enfoque de los estados de agregación.

#### **2.1.4. Agroecosistemas: conceptos y enfoques**

Desde el establecimiento del concepto de agroecosistema a partir de las bases agroecológicas, ha existido una constante discusión sobre cuál debe ser la definición correcta.

Las definiciones y enfoques han sido tan variados como el número mismo de investigadores que han incursionado en el tema, y es tan amplio que generalmente cada uno de ellos ha concebido una definición, que en esencia no difiere significativamente, pero que si presenta particularidades derivadas del ambiente y contexto en el que se desarrolla y de los objetivos que persigue el mismo investigador. A continuación, se presentan definiciones y enfoques de algunos de los protagonistas de esta creciente área del conocimiento.

Etimológicamente, la palabra agroecosistema es un término que se compone de las palabras agro (del latín *ager*, campo, tierra de producción) y ecosistema (porción de naturaleza constituida por organismos vivientes y sustancias inertes que actúan recíprocamente intercambiando materiales) y

la palabra ecosistema está formada por los términos ecología (estudio de las relaciones entre los seres vivos con su medio) y sistema (grupo de elementos interactuando ordenadamente para un fin). Con lo anterior, agroecosistema se define como: "sistemas de relaciones entre los organismos coparticipes en la agricultura" (Ruiz, 2006).

Conway (1986) considera que los agroecosistemas son sistemas ecológicos modificados por el hombre para hacer producir alimentos, fibras y otros productos agrícolas. Como los sistemas ecológicos son remplazados, los agroecosistemas son a menudo estructural y dinámicamente complejos, pero su complejidad surge principalmente de la interacción entre los procesos socioeconómicos y ecológicos.

Gliessman (2002) define al agroecosistema como un sitio de producción agrícola, por ejemplo, una granja vista como un ecosistema. El concepto de agroecosistema ofrece un marco de referencia para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad, incluyendo el complejo conjunto de entradas y salidas y las interacciones entre sus partes. Un agroecosistema se crea cuando un ecosistema natural se modifica de tal forma que se da paso al establecimiento de la producción agrícola (Gliessman *et al.*, 2007).

En cuanto a los enfoques encaminados al estudio de los agroecosistemas se pueden mencionar los siguientes.

El enfoque agroecológico. El manejo sustentable de los agroecosistemas requiere ser abordado como un tipo especial de ecosistema, considerando las interacciones de todos los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, así como el impacto ambiental que en conjunto estos producen (Sarandón y Flores, 2014). Para ello, la agroecología podría definirse como “un nuevo campo de conocimientos, un enfoque, una disciplina científica que reúne, sintetiza y aplica conocimientos de la agronomía, la ecología, la sociología, la etnobotánica y otras ciencias afines, con una óptica holística y sistémica y un fuerte componente ético, para generar conocimientos y validar y aplicar estrategias adecuadas para diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas sustentables” (Sarandón, 2002).

Para Gliessman *et al.* (2007) los agroecosistemas son más difíciles de estudiar que los ecosistemas naturales, debido a que se complican con la intervención humana que altera la estructura y función de los ecosistemas normales.

Gliessman (2002) y Conway (1986) coinciden en que una definición del concepto de agroecosistema implica la relación que existe entre los elementos que lo integran y cuyo objetivo principal es la obtención de productos que se derivan de los procesos agrícolas, aunque estos autores toman como punto angular la producción agrícola en ecosistemas modificados para dicha tarea. En este sentido las relaciones pueden ir más allá de aquellas que se vinculan directamente con la obtención de productos agrícolas, pues este sistema de relaciones puede contener actividades en ámbitos como el económico, el ecológico, el social, el ambiental, el cultural, etc.

La definición de Ruiz (2006) cuyas “relaciones” parecen incluir situaciones adicionales a las inherentes de la agricultura, pueden resultar favorables si se toma en cuenta que anteriormente el concepto de agroecosistema estaba limitado al estudio de la dimensión ambiental (Casanova *et al.*, 2016)

Los autores incluyen en sus definiciones el término “sistema” con lo que es posible tener una visión general e integral de los procesos que ocurren en su interior y así determinar el origen de las problemáticas que puedan presentarse. En este sentido, una visión sistémica puede generar diferencias en el establecimiento de un concepto de agroecosistema desde los diferentes puntos en que se abordan los problemas, pues cada uno de los ámbitos mencionados anteriormente pueden incluir a la producción agrícola más allá de las cuestiones técnicas y en consecuencia, los responsables de la toma de decisiones se verán tentados a establecer una definición de agroecosistema desde un punto de vista que atienda a la contextualización de su función dentro de lo que ellos planteen como agroecosistema.

Situaciones como estas dan pie a que las definiciones dadas por los autores no puedan adaptarse a problemáticas que se presentan y contribuyen a su modificación de acuerdo a las necesidades que se tengan para favorecer un panorama más claro y fácil de abordar.

Las definiciones del termino agroecosistema son cambiantes en el tiempo y el espacio, no estáticas, pero bajo una visión de sistemas continúan siendo amplias en un sentido en donde los procesos particulares que incluyen cada una de ellas, siguen contemplando a la mayoría de elementos que se relacionan entre sí, pues supone que los objetos de estudio dentro de los agroecosistemas, no están aislados, y se ven influenciados por diversos factores que interactúan constantemente.

El enfoque agroecológico para el establecimiento de una definición de agroecosistema, y en consecuencia el análisis de sus problemas y búsqueda de soluciones, parece ser el más adecuado, pues al incluir los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, así como una preocupación por los efectos derivados de las actividades productivas hacia el ambiente (Pérez y Landeros, 2009; Sarandón y Flores, 2014) representan un enfoque con mayor alcance que puede eficientemente fomentar el desarrollo de agroecosistemas sustentables.

Casanova *et al.* (2016) apoya la idea señalando que la agroecología por si misma ha contribuido a la integración de una nueva forma de pensamiento que es compatible con las actividades agrícolas al momento de desarrollar ciencia en donde se promueve ir más allá del tradicional enfoque reduccionista.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo un agroecosistema es una abstracción que considera la situación actual y busca la integración y reconocimiento de la mayoría de los elementos que lo conforman, en este caso el banco de semillas del suelo, sea cual sea el sistema de producción, agrícola o ganadero principalmente, puede verse como una herramienta indispensable para el análisis, el diagnóstico, la identificación de problemas, independientemente del contexto que finalmente permita la generación de estrategias de atención acordes a sus necesidades.

### **2.1.5. El análisis de agroecosistemas**

Dada la complejidad que representa estudiar cada uno de los componentes que intervienen en el funcionamiento de los agroecosistemas, realizar un análisis desde un enfoque unidisciplinario podría dejar de lado aspectos relevantes para su evaluación, diagnóstico y rediseño. Por lo anterior, se han generado diferentes metodologías que permiten la evaluación de estos dependiendo de la problemática a resolver. Las metodologías pueden incluir el análisis de aspectos ambientales, sociales, económicos o la combinación de estos. La integración de los resultados de cada uno brindará un panorama más amplio del agroecosistema en estudio y podrá definir cuáles son aquellos aspectos que requieren atención prioritaria.

El análisis de los agroecosistemas va a depender también del enfoque que se le dé a la investigación, pudiendo esta presentar características cuantitativas, cualitativas o ambas., a continuación, se presenta una breve descripción de cada una de ellas, así como algunas metodologías empleadas.

**Enfoque cuantitativo de investigación:** este enfoque emplea la recolección de datos para probar hipótesis basado en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández *et al.*, 1998).

Para el análisis de agroecosistemas bajo un enfoque cuantitativo se han considerado metodologías como el análisis de la calidad del suelo en los agroecosistemas (Lang *et al.*, 2011) o la de banco de semillas (Gross, 1990), entre otras.

**Enfoque cualitativo de investigación:** este enfoque utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación (Hernández *et al.*, 1998).

La presente investigación se centra en el paradigma cuantitativo, particularmente en el método experimental que consiste en delimitar y simplificar el objeto de investigación o problema, en establecer una hipótesis de trabajo, el posible uso de un diseño experimental donde los datos numéricos obtenidos son analizados con métodos y pruebas estadísticas. El enfoque cualitativo se emplea también, aunque en menor proporción, cuando se considera la obtención de información por parte de los productores para la caracterización de los sitios de trabajo

#### **2.1.6. Suelo**

En un sentido ecológicamente válido Daubenmire (1986) señala que el suelo abarca cualquier parte de la corteza terrestre donde las plantas se fijan, pudiendo ser los fondos lodosos de las lagunas o la superficie porosa de las rocas. El autor en términos más conservadores define al suelo como: “la capa superficial de la corteza terrestre expuesta a la intemperie a la cual se incorporan los organismos vivos y sus productos de desecho”. Millar *et al.* (1971) definen al suelo como la superficie suelta de la tierra que se distingue de la roca sólida, aunque puede parecer una visión muy general del término, los autores se refieren de esta forma dada la complejidad y la variabilidad de suelos que existen en el mundo.

#### **2.1.7. Banco de semillas**

Bakker *et al.*; 1996 mencionan que una de las primeras referencias sobre el banco de semillas del suelo se tiene en la obra de Charles Darwin de 1859, quien, a partir de pequeñas muestras de lodo de diferentes sitios, una vez secas, fueron sometidas a germinación, contando y registrando cada

una de las especies que aparecieron, encontrando un total de 537 individuos. Algunas definiciones de banco de semillas se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Diferentes definiciones para el banco de semillas del suelo**

Autor	Definición
Bakker <i>et al.</i> , 1996	Es la colección de semillas viables presentes en el suelo con potencial de regeneración.
Cano <i>et al.</i> , 2012	Un banco de semillas es la agregación de semillas que aún no germinan, con potencial para establecerse y formar parte de la vegetación en pie y están relacionadas con los diferentes microhabitats que se encuentran en un tipo de vegetación particular.
Garwood, 1989; Swaine, 2001	Los bancos de semillas de suelo se definen como la reserva de semillas maduras y viables presentes en la superficie de los suelos, o enterrados en el suelo u hojarasca.
Simpson <i>et al.</i> , 1989	Se refieren al banco de semillas del suelo como todas aquellas semillas presentes en, o sobre el suelo o que están asociadas a la capa superficial
Sagar y Mortimer, 1976	Son las semillas en y debajo de la superficie del suelo que son capaces de germinar.
Wang <i>et al.</i> , 2013; Ge <i>et al.</i> , 2013	El banco de semillas es un importante componente de la resiliencia del ecosistema y representa un stock con potencial de regeneración en muchos grupos de plantas.
Whittle <i>et al.</i> , 1997	Las semillas enterradas y los propágulos vegetativos, fuentes primarias de renuevo en comunidades vegetales posterior a un disturbio.

La importancia del estudio del banco de semillas del suelo radica en que junto a las diferentes especies que lo integran, forman parte del material base para los procesos de sucesión vegetal, lo que los convierte en un elemento importante para la restauración de la riqueza de especies vegetales (Ma *et al.*, 2010; Cui *et al.*, 2016).

#### **2.1.8. Los agroecosistemas y el banco de semillas**

Para Mall y Singh (2014) el banco de semillas del suelo en los agroecosistemas está relacionado a los estudios del también llamado banco de semillas de hierbas, sus características han sido ampliamente documentadas más que otros bancos de semillas por la importancia económica que representan, debido a que son la principal fuente de hierbas en los campos agrícolas, por lo que el conocimiento de su dinámica puede contribuir a un mejor manejo en el futuro

En agroecosistemas ganaderos, Lira *et al.* (2007) resaltan la importancia de los bancos de semillas del suelo, que, si bien no son tan ricos y diversos como la vegetación natural antes de la transformación, si presenta una biodiversidad superior a la que se esperaría de terrenos con monocultivo de pastos. Los autores sugieren estudiarlos para comprender las características estructurales y florísticas, así como la dinámica de la vegetación en áreas ganaderas.

Por otra parte, actividades de reconversión de agroecosistemas a ecosistemas, caso particular de humedales, consideran que el banco de semillas es un elemento clave para la restauración en donde se requiera incrementar el número de especies, sin embargo mencionan que dada la complejidad e importancia de la restauración ecológica, los efectos de los métodos de restauración empleados sobre el banco de semillas del suelo dentro de los humedales, las investigaciones sobre este requieren ser promovidas (Ge *et al.*, 2013).

#### **2.1.9. Ecología del banco de semillas**

El estudio de la estructura de las comunidades de plantas normalmente se enfoca sobre la vegetación en pie, pero para comprender la dinámica de la vegetación es importante reconocer los patrones de reclutamiento (Eriksson, 1995). Algunos estudios sugieren que los dos primeros centímetros de la superficie del suelo pueden ser suficientes como fuente de semillas en la regeneración de vegetación (Zhang *et al.*, 2001). Lo anterior se ve reforzado por lo mencionado por Ma *et al.* (2010) que indicaron que la densidad de semillas y la riqueza de especies se reducen con la profundidad.

Aunque la profundidad es determinante para la germinación de las semillas por las cuestiones mecánicas que implican la protección que estas tienen bajo el suelo al no resistir largos periodos en la superficie (Thompson *et al.*, 1993; Traba *et al.*, 2004, Luzuriaga *et al.*, 2005) la presencia y persistencia del banco de semillas del suelo no está sujeta solo a su tamaño y forma, también influyen factores como sus requerimientos de germinación, mecanismos de dormancia y la resistencia a patógenos (Thompson *et al.*, 1993). En cuanto a la dormancia de las semillas, Vleeshouwers *et al.* (1995) analizaron las diferentes inconsistencias que tenían los términos y las definiciones que aludían a este fenómeno y establecieron una definición más adecuada en donde se considera la integración de la fisiología y la ecología. De acuerdo a lo anterior, la dormancia de las semillas no se debe definir como la ausencia de germinación, sino más bien como una característica propia de las semillas, que representa el grado en el que determina el rango de condiciones en las que una semilla es capaz de germinar.

Dalling *et al.* (2011) mencionan que se ha prestado mayor atención a los efectos que pueden tener sobre las semillas los insectos y otros vertebrados en la superficie del suelo, pero en lo que se refiere a las que se encuentran resguardadas en el suelo, los microorganismos tienen un efecto significativo en su supervivencia. Los autores citados sugieren que la dormancia de las semillas, así como el antagonismo microbiano que pueden presentar podría ser el resultado de lo que ellos denominan como “síndrome de la defensa de las semillas”, en donde las que presentan una dormancia física dependerán de defensas del mismo tipo para excluir a los patógenos y depredadores, además de que tienden hacia una rápida germinación que les permitirá escapar de los patógenos en una situación de emergencia. Por otra parte, semillas con dormancia fisiológica generaran continuamente defensas físicas y químicas dependiendo de la presión del patógeno en el suelo y de la persistencia de la semilla.

La persistencia del banco de semillas tiene una función de memoria de la comunidad vegetal original y es de donde depende la reaparición de las plantas, si por diferentes factores las especies han desaparecido vectores tales como el viento, el agua, los animales y el mismo hombre las vuelven a incorporar dentro del banco de semillas fresco del suelo, la llegada de semillas es de gran importancia pues sin ella el restablecimiento de la vegetación no sería posible (Bakker *et al.*, 1996).

En el caso de la dispersión de las semillas, el peso, el tamaño y la forma podrían estar relacionados con su longevidad, lo que también es determinante para el éxito de las actividades de restauración de comunidades vegetales de interés (Bakker *et al.*, 1996).

#### **2.1.10. Factores que inciden en el banco de semillas**

Diferentes factores inciden sobre el banco de semillas del suelo, para Honda (2008) la historia de vida y el tamaño de semillas está fuertemente relacionado con la formación del banco de semillas, donde la contribución de la dormancia para la formación o persistencia de un banco de semillas es diferente en cada tipo de dormancia. Albrecht y Pilgram (1997) por su parte señalan que existen correlaciones positivas entre las actividades de manejo y la capacidad de campo disponible, de igual forma la vegetación en pie con la cantidad de semillas en el suelo presenta una correlación altamente significativa.

Otros factores que determinan la existencia del banco de semillas en el suelo de zonas tropicales pueden ser factores intrínsecos tales como la fisiología de las semillas, su tamaño y forma, así como los procesos de dispersión a los que se ven sujetas. Ante esto se reconocen síndromes de dispersión como son la anemocoria (dispersión por viento) la hidrocoria (dispersión por el agua), epizocoria (dispersión por contacto con animales), barocoria (dispersión por gravedad) y autocoria (dispersión por mecanismos propios de la planta por la explosión de frutos), en cuanto a los factores ambientales, los de mayor relevancia son la luz, la temperatura, el microrelieve, la estación del año, así como los niveles de perturbación del suelo (Bedoya *et al.*, 2010).

#### **2.1.11. Características ecofisiológicas de las semillas**

Existen diferentes factores por los que se clasifican los bancos de semillas del suelo, por ejemplo, la dormancia. Para Benech *et al.*, (2000), la dormancia es un atributo de muchas poblaciones de semillas que pertenecen al estrato herbáceo, el cual limita la labor de predecir el periodo y la extensión de la emergencia de las hierbas.

Garwood (1989) menciona en cuanto a esto que, las semillas de muchas especies con germinación rápida son viables unos pocos meses como máximo y no presentan dormancia. Mientras que una dormancia facultativa esta relacionada con los cambios ambientales como el tipo de luz y las variaciones de temperatura causadas por la luz solar y también por el fuego (Bedoya *et al.*, 2010). La inhibición de la dormancia según De Souza *et al.*, (2006), se dara solo cuando se presenten condiciones ambientales adecuadas para la germinación de las semillas.

La latencia se rige por dos factores principalmente, por el fitocromo, el cual detecta los incrementos en la radiación roja o roja lejana, a la que se expone el suelo cuando el follaje del dosel es removido, y por la ruptura de la cubierta dura de la semilla, la cual detecta un aumento en las variaciones temperatura del suelo posteriores a una exposición o quema (Garwood, 1989).

Tras los procesos de dispersión, las semillas se comportan de forma diferente en cuanto a su tolerancia a la desecación, bajo este parámetro se les considera ortodoxas, reclacitrantes e intermedias., las primeras toleran deshidrataciones hasta del 5 %, las segundas de entre el 10 % y 12 % y las ultimas entre 15 % y 50 %.

Cuando se considera al banco de semillas como un elemento clave en la sucesión vegetal, esta va a depender en gran parte del tipo de dormancia que tengan las semillas que se encuentran resguardadas en su interior, pues como mencionan Bedoya *et al.* (2010), la dormancia es uno de los factores que determinan tanto su persistencia como el tipo de banco que puedan formar, la dormancia permite una viabilidad durante un periodo de tiempo mas amplio, por lo que las semillas son mas longevas. En el caso del fomento de la sucesión vegetal al interior de zonas perturbadas por actividades agropecuarias, más allá de las características de las semillas, se deben tener en cuenta también las actividades antropogénicas que fomentan la incorporación de las semillas en el suelo a través de la acción mecánica, pues cuando se considera el tamaño de estas, el empuje al interior del suelo puede volverlas persistentes independientemente de su tamaño (De Souza *et al.*, 2006).

#### **2.1.12. Efecto de la temperatura sobre la latencia y germinación de las semillas**

Para Benech *et al.*, (2000) la dormancia se define como “una condición interna de las semillas que impide su germinación bajo adecuadas condiciones hídricas, térmicas y gaseosas”, lo que significa que una vez que estas limitantes han sido removidas la germinación de las semillas podría proceder bajo un amplio rango de condiciones ambientales.

Para la mayoría de las poblaciones de semillas, una vez que se ha alcanzado un grado de dormancia lo suficientemente bajo, esta debería terminar por los efectos de la luz, los nitratos o las fluctuaciones de la temperatura, lo que permite que el proceso de germinación inicie (Benech *et al.*, 2000). Los mismos autores señalan que para climas templados, la temperatura ha sido identificada como el principal factor que modifica los cambios en el grado de dormancia.

Thompson y Grime (1983) encontraron que la sensibilidad a las fluctuaciones de temperatura se observó en especies de pasturas, humedales y hábitats perturbados y fue notorio entre especies que forman el banco de semillas persistente. Además, consideran que la profundidad, el tamaño de las semillas y las variaciones de temperatura que se dan dentro del perfil del suelo, afectan la germinación de las semillas, siendo las más pequeñas de la superficie, las que están sujetas a mayores fluctuaciones de temperatura, mientras que las que se encuentran a profundidades mayores, no se ven tan afectadas. Para Finch y Leubner (2006) es ampliamente aceptado que la temperatura regula tanto la dormancia como la germinación.

La germinación de muchas especies está regida por los grados días de crecimiento o la suma del número de grados por los que el promedio de temperatura de cada día excede una base de temperatura. La dormancia inicial o primaria reduce la emergencia hasta principios de la temporada de crecimiento, finales de la primavera para semillas de estación cálida (dormancia rota por periodos fríos durante el invierno) y otoño para hierbas anuales de invierno (dormancia rota por los periodos cálidos del verano), cuando las hierbas emergen tienen mayores oportunidades para completar su ciclo de vida y establecer la siguiente generación de semillas (Mall y Singh, 2014). Honda (2008) por su parte indican que las fluctuaciones de la temperatura pueden mejorar la formación o persistencia de los bancos de semillas.

### **2.1.13. Factores que afectan el banco de semillas**

Diferentes factores pueden afectar al banco de semillas del suelo, algunos están relacionados con las características del ambiente en el que se desarrollan (Fisher *et al.*, 2009) y otros pueden ser determinados por las actividades de manejo a que se ven sujetos los diferentes escenarios en que se estudian.

Horvitz y Schemske (1994) menciona que el estudio de la importancia del banco de semillas del suelo, contra la actual lluvia de semillas en el reclutamiento de plántulas a partir de la dispersión realizada por organismos tales como las hormigas, y en consecuencia la relación con su dinámica, puede estar asociado con disturbios donde se incluyen incendios, madrigueras de animales o la caída de árboles.

Para el caso de pasturas tropicales, Cubiña y Mitchell (2001) sugieren que la distancia existente entre el bosque y los pastizales tienen un fuerte efecto sobre la abundancia y la diversidad de especies leñosas provenientes de la lluvia de semillas y contenidas en el banco de semillas del suelo.

El efecto principal al que parece deberse esta relación es que la capacidad de deposición tanto de semillas como de propágulos, a través de los diferentes mecanismos de dispersión es más alta en sitios en donde se encuentran estratos vegetales superiores al herbáceo. Los beneficios de estratos como el arbustivo sobre la riqueza y abundancia de especies fue estudiado por Pugnaire y Lázaro (2000) y coinciden en que, aunque el estrato arbustivo no genere una diferencia sustancial entre la composición de especies, la abundancia de semillas fue mayor bajo los doseles de mayor edad.

Wunderle (1997) destaca la importancia que tiene la vocación de las áreas tropicales, principalmente las que se encuentran establecidas con plantaciones forestales, en ellas, los procesos de dispersión que realizan los animales, se ven aumentadas por las características propias de una zona arbolada, la función que tienen como percha y el potencial como fuente de alimento pueden acelerar los procesos de sucesión vegetal, aunque no hace mención específica de una contribución al enriquecimiento del banco de semillas del suelo, es evidente que la presencia de los dispersores generan una entrada de semillas y propágulos en el sitio donde se localicen. Esto concuerda con Pugnaire y Lázaro (2000) en el sentido de que la distancia de la fuente de propágulos o lo que define también como grado de aislamiento como una determinante en procesos de restauración.

En ambientes con una cubierta vegetal dominada por árboles, se observan claramente los efectos que tiene la apertura de brechas debido a la caída de árboles, las cuales pueden estimular el reclutamiento del banco de semillas pudiendo funcionar como “*hot spots*” que incrementan la lluvia de semillas por la atracción de animales frugívoros o pudiendo favorecer el crecimiento de brotes vegetativos de plántulas que existían previamente. Este esquema de germinación generado a partir la apertura de brechas, no es exclusivo de escenarios con un estrato arbustivo o arbóreo pues Amiaud y Touzard (2004) sugieren que la apertura de brechas al interior de pastizales potencializa la expresión del banco de semillas del suelo y afirman que la predominancia de especies perennes en la vegetación no perturbada, posiblemente reduce la abundancia de brechas naturales y las probabilidades del establecimiento de plántulas.

Las actividades de pastoreo tienen un efecto significativo de acuerdo a la intensidad en la que se desarrollen, Sternberg *et al.* (2003) determinaron que, con altas presiones de pastoreo se reduce la densidad del banco de semillas del suelo principalmente de pastos y crucíferas, en comparación con un pastoreo moderado.

Las perturbaciones de tipo agrícola en donde el suelo es removido al punto de modificar la estructura de los diferentes niveles que presenta el banco de semillas, es determinante para que las especies que ahí se encuentran puedan desarrollarse, estos contrastes en cuanto al grado de perturbación y su efecto en el banco de semillas del suelo ha sido documentado por Amiaud y Touzard (2004) y por Luzuriaga *et al.* (2005) en ambos casos se analizaron situaciones extremas de perturbación, la primera, caracterizada por un insuficiente disturbio que incluía solo la eliminación de la cubierta vegetal y la mínima mezcla de la superficie del suelo y en la segunda, una fuerte perturbación que consistió en el paso de un arado profundo y una completa homogenización del suelo, genero la disolución del banco de semillas de la superficie, lo que aunado a las características de las semillas, cuya forma redondeada parece ser proclive a posicionarse a mayor profundidad, pudo contribuir a que estas no fueran capaces de germinar debido a la profundidad a la que pudieron haberse localizado después de la perturbación. Lo anterior sugiere que los grados de perturbación del suelo, son necesarios cuando se requiere fomentar su expresión en campo, así como al momento de realizar un análisis que permita una correcta caracterización.

Finalmente, el fuego es considerado como un factor de perturbación global que afecta la reproducción de una gran cantidad de especies vegetales, en ciertos casos el fuego es una de varias perturbaciones que aceleran la germinación para dar paso al establecimiento de plántulas, mientras que en otros casos, las especies son meramente dependientes del fuego y lo requieren para el reclutamiento de plántulas, además de esto, los efectos secundarios que provoca el fuego, contribuyen a la apertura de brechas al interior de la vegetación en donde se establecen las condiciones adecuadas para la colonización de especies (Keeley y Fotheringham, 2000).

#### **2.1.14. Efecto del agua (lluvia) en la dormancia y germinación de semillas**

Además de los requerimientos básicos de agua, oxígeno y adecuadas temperaturas, las semillas pueden ser sensibles a factores tales como la luz y/o nitratos. En el caso del agua, la germinación comienza con la toma de agua por imbibición de la semilla seca seguido por la expansión del

embrión (Finch y Leubner, 2006). Benech *et al.* (2000) señalan que de los dos diferentes tipos de factores ambientales que afectan la dormancia, son las interacciones entre las condiciones hídricas del suelo y la temperatura, las que influyen sobre los grados de dormancia de una población de semillas. Ooi (2012) coincide también en que la temperatura y, además, la lluvia, interactúan particularmente con otras variables ambientales como la composición del suelo y el tipo de vegetación para proveer muchas de las señales ecológicas primarias para la germinación y emergencia del banco de semillas.

Lee *et al.* (2014) indicaron que las inundaciones posteriores una fuerte lluvia, pueden tener un efecto estabilizador en cuanto a las características del banco de semillas, ya que las diferencias entre las comunidades, en términos de diversidad y composición se reducen. Considerando lo anterior, es posible que la lluvia tenga un efecto de arrastre de semillas que puede modificar el banco de semillas en determinada zona.

## **2.2. Marco Teórico Referencial**

### **2.2.1. Estudios realizados sobre el banco de semillas**

#### **2.2.1.1. Ambientes no tropicales**

Existen diferentes métodos para analizar las características del banco de semillas del suelo, algunos son relativamente sencillos y otros un poco más complejos, sin embargo, en ambos casos el objetivo es determinar las especies y el número de estas que se encuentran en y sobre el suelo. A continuación, se describen brevemente algunas de las técnicas empleadas en diferentes estudios.

En zonas cultivables de Alemania, se tomaron muestras de suelo donde se utilizó el método de germinación directa, con muestras colocadas en charolas, expuestas al aire libre y regadas de manera regular. Se encontró que las características del banco de semillas, compuesto principalmente de cinco comunidades de plantas herbáceas estuvo determinada por el tipo de suelo y por las actividades de manejo (Albrecht y Forster, 1996).

En un área semidesértica del estado de Puebla, México, se realizó la colecta de muestras de suelo, las semillas contenidas en este se estimaron a través de técnicas de conteo directo de semillas. Utilizando métodos de separación y flotación, la identificación de semillas se hizo a través del microscopio estereoscópico con un banco de semillas de referencia. Se encontró que la heterogeneidad de los sitios influye en las características del banco de semillas, lo mismo que la

dispersión de semillas por parte de hormigas, siendo esta última determinante en la abundancia de especies particularmente palatables para estas (Cano *et al.*, 2012).

En zonas de humedales de la costa este de China se estimó la similitud entre el banco de semillas del suelo en relación a la vegetación en pie. Empleando el método de germinación directa en invernadero, colocando las muestras de suelo en charolas y aplicando periodos de luz de 10 a 14 horas. La baja similitud entre ambas partes sugiere que se deben aumentar los esfuerzos para la protección de las zonas de humedal, pues el banco de semillas tiene un potencial bajo de recuperación. (Cui *et al.*, 2016).

En zonas de cultivo reconvertidas a humedales en el este de China, a fin de determinar el efecto de las actividades de restauración, se caracterizó el banco de semillas del suelo con el método de germinación de muestras concentradas las cuales fueron tomadas con nucleadores a fin de integrar una muestra compuesta que fue homogenizada para posteriormente ser dividida en tres y proceder a su germinación bajo condiciones controladas de temperatura e iluminación. (Ge *et al.*, 2013).

#### **2.2.1.2. Ambientes tropicales**

Se han realizado investigaciones que consideran al banco de semillas como una parte crucial e integral de los ecosistemas ya que muestra la historia pasada de la vegetación en pie, así como su futuro próximo (Mall y Singh, 2014).

Por ejemplo, González *et al.*, (2009) evaluaron el banco de semillas en zonas con 4, 9 y 14 años de abandono utilizando muestras colectadas hasta nueve centímetros de profundidad. Los autores encontraron que la composición del banco de semillas se integra durante la sucesión secundaria. Sin embargo, el banco de semillas requiere ser apoyado por plantación directa pues a pesar de que la densidad aumenta conforme avanza la sucesión vegetal, la presencia de arbustos y árboles es baja.

Lira *et al.*, (2007) analizaron la diversidad en potreros de Los Tuxtlas, México y encontraron hasta 200 especies de angiospermas y 14 pteridofitas. La mayoría fueron malezas y pastos, y algunas plántulas de árboles y arbustos, mencionando que, la presencia de especies con abundancias y coberturas relativamente bajas, pero con amplia distribución, se debe a que forman parte del banco de semillas del suelo

Álvarez *et al.* (2005) en México, identificaron la densidad y composición florística del banco de semillas bajo diferentes niveles de disturbio utilizando muestras de suelo de 30 cm X 30 cm y 5 cm de profundidad que se sometieron a germinación en invernadero. Concluyeron que la ganadería y la tala de árboles pueden influir en el banco de semillas del suelo, donde también las actividades ganaderas afectan el banco de semillas del suelo, siendo poco probable que este pueda contribuir a la regeneración del bosque por la poca similitud que tiene con la vegetación en pie.

En Colombia, Cárdenas *et al.* (2002) determinaron si los niveles de disturbio en pastizales influyen sobre la riqueza y diversidad de especies. Estimaron la riqueza, diversidad y abundancia de semillas del suelo a partir de muestras colectadas a profundidades de 0-5 y de 5-10 cm. Estas muestras fueron lavadas y tamizadas para concentrar las semillas y posteriormente someterlas a germinación. Los resultados señalaron que los valores de las tres variables estudiadas se reducen con un disturbio intermedio y aumentan cuando se tiene un pastoreo intensivo.

Cabe señalar que los trabajos anteriormente mencionados relacionados al banco de semillas en regiones tropicales han sido enfocados a la restauración de la vegetación, y también se han identificado trabajos similares en países como India, China, Brasil, Singapur, Panamá entre otros. En México se han realizado algunos estudios para determinar la función del banco de semillas en la regeneración de la selva baja caducifolia y ambientes de humedal en el centro del país (Álvarez *et al.*; 2014, Zepeda *et al.*; 2015), otros como el de Ramírez *et al.* (1992), han mostrado que las áreas perturbadas por actividades humanas, durante los primeros estadios sucesionales, tienen una mayor acumulación de semillas de especies invasoras arvenses, ya sean nativas o exóticas. Por lo anterior se ha considerado de vital importancia el reconocimiento del estado actual del banco de semillas del suelo, particularmente en zonas sujetas a la actividad ganadera, no solo en términos de caracterización sino también de aplicación con fines de restauración y conservación de diversidad de especies vegetales.

### **3. HIPÓTESIS Y OBJETIVO**

#### **3.1. Hipótesis**

La riqueza y diversidad de especies vegetales del banco de semillas del suelo en agroecosistemas ganaderos está asociada positivamente a las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como por las actividades de manejo de cada sitio.

#### **3.2. Objetivo**

Cuantificar la riqueza y diversidad de especies vegetales del banco de semillas en función de las actividades de manejo en los agroecosistemas, características físicas, químicas y biológicas del suelo.

### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1. Tipo y enfoque de estudio**

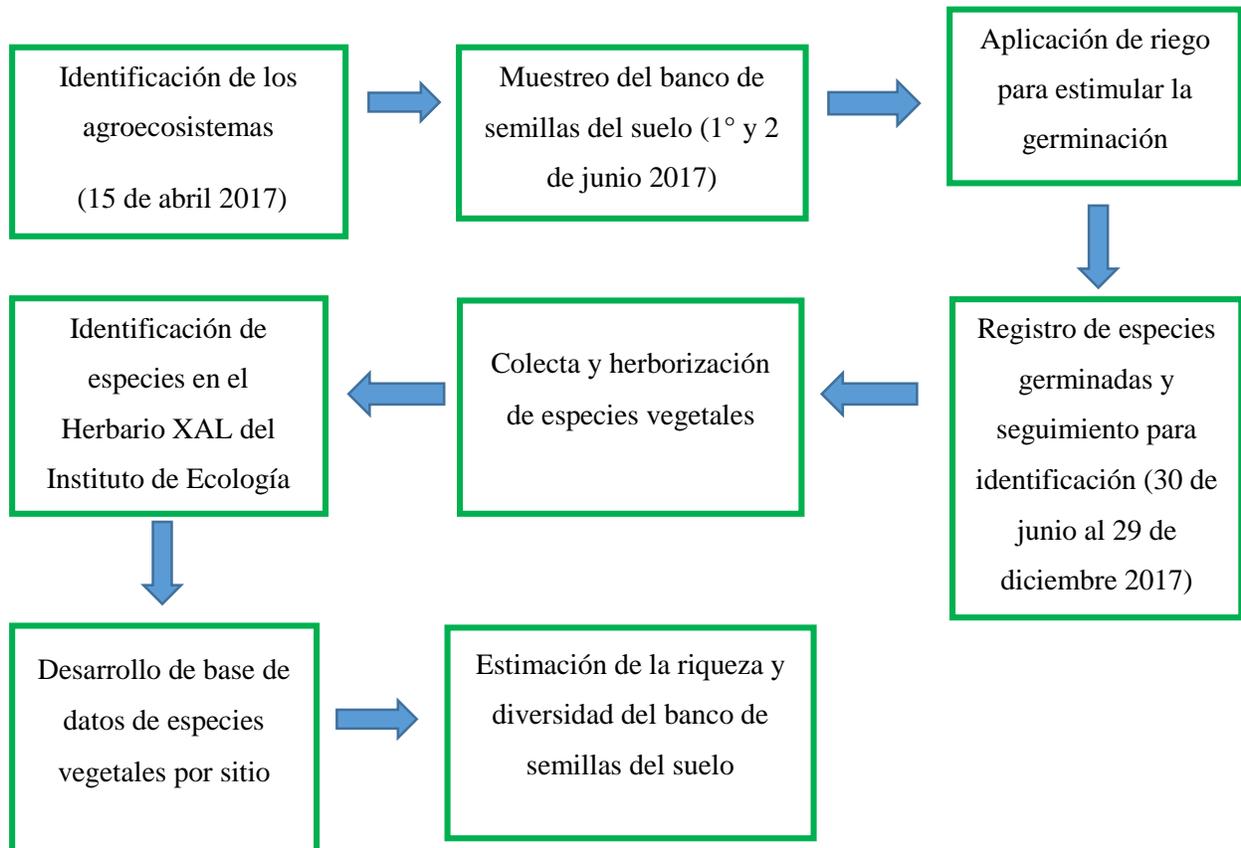
La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo incluyendo eminentemente cuantificar diversos indicadores en el estado actual del banco de semillas del suelo y su respuesta en función del tipo de agroecosistema y sus características. La información se obtuvo a partir de diferentes parámetros provenientes de muestras de suelo colectadas al azar, para el caso del análisis del banco de semillas del suelo. Además, se realizaron dos entrevistas semiestructuradas a los encargados de los predios en donde se realizó el estudio para conocer las prácticas de uso y manejo de los diversos agroecosistemas en estudio y a partir de ello realizar una caracterización de los agroecosistemas.

#### **4.2. Diseño de la investigación**

La investigación se inició con la colecta de las muestras de suelo necesarias para estimar la riqueza y diversidad del banco de semillas, de la macrofauna edáfica y obtener las muestras compuestas necesarias para el análisis físico-químico del suelo. Posteriormente se dio seguimiento y registro de las especies germinadas, el trabajo de laboratorio, consultas e identificación de ejemplares en el herbario y recorridos de campo para obtener la información relacionada a las actividades de manejo de cada uno de los espacios en que se muestreo.

#### 4.2.1. Método de estudio del banco de semillas del suelo

Se utilizó el método de germinación directa, con muestras colocadas en charolas, expuestas al aire libre durante el periodo de lluvias y con riegos de apoyo durante los periodos de estiaje o inicio de sequía. Todas las muestras se mantuvieron bajo malla sombra para evitar una sobreexposición a la radiación solar y al mismo tiempo reducir el impacto de la lluvia sobre las muestras de suelo (Albrecht y Forster, 1996).



**Figura 1. . Proceso seguido para la caracterización del banco de semillas del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo.**

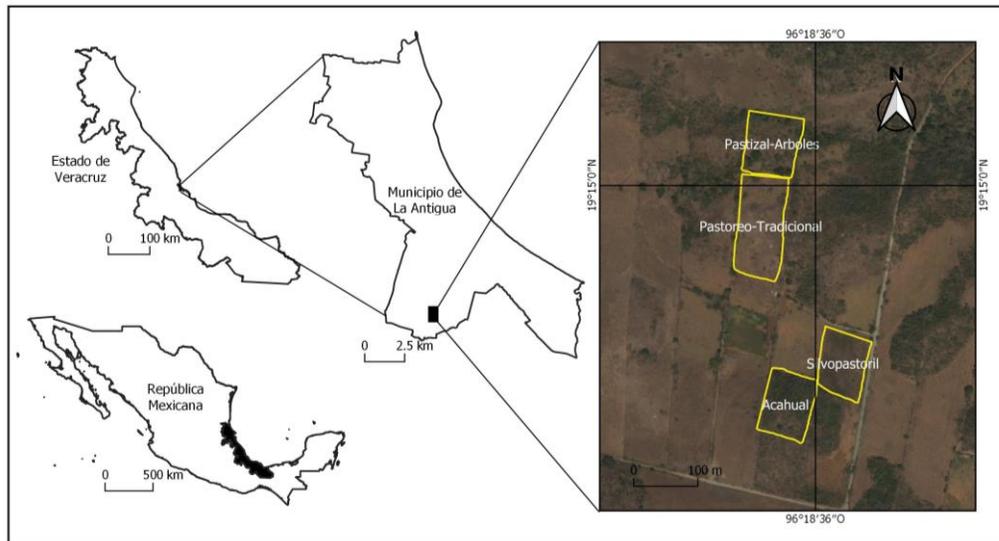
Se dio seguimiento a la germinación de las semillas a través de registro fotográfico y conteo de todos aquellos individuos germinados, identificándolos como sp 1, sp 2 de forma sucesiva. Posteriormente, cuando alcanzaron una altura adecuada algunos ejemplares se trasplantaron para favorecer su desarrollo y el de las estructuras reproductivas para su identificación taxonómica. Otros individuos permanecieron en las charolas hasta que pudieron ser colectados.

Desde el inicio del proceso de germinación, a partir del 1° de junio y hasta la conclusión de las observaciones, el 30 de diciembre de 2017 se registró con un data logger YSB-502 *Measurement Computing*, las condiciones de temperatura, humedad relativa y precipitación a la que estuvieron expuestas las charolas de germinación. Los ejemplares colectados fueron herborizados y posteriormente se realizó su determinación a través del cotejo con ejemplares depositados en el Herbario XAL del Instituto de Ecología A.C (Anexo 1). En el registro de la información obtenida se consideraron las especies germinadas en cada charola, así como el número de individuos de cada una.

### 4.3. Área de estudio

El área de estudio incluyó tres diferentes agroecosistemas ganaderos en la zona costera central del estado de Veracruz y su contraparte el ecosistema característico que es selva baja caducifolia (acahual), en la localidad de Loma Iguana, municipio de La Antigua, ubicados entre las coordenadas  $96^{\circ} 18' 36''$  LO y  $19^{\circ} 15' 0''$  LN (Figura 2) y a una altitud de 38 msnm. La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima Aw, cálido subhúmedo con lluvias en verano acorde a la clasificación de Köppen (Lohmann *et al.*, 1993).

La precipitación promedio anual es de 1400 a 1600 mm anuales y se circunscribe a los meses de junio a septiembre. La temperatura promedio anual es de 24 a 28 °C y la mínima anual de 20.3 °C y la máxima anual de 30.7 °C.



**Figura 2. Ubicación de los diferentes agroecosistemas de pastoreo y del acahual en estudio en la comunidad rural de Loma Iguana, Municipio de La Antigua, Ver.**

A continuación, se describe los materiales y métodos empleados en el desarrollo de la presente investigación con el objetivo de rechazar o no la hipótesis establecida

#### **4.4 Descripción de los sitios de estudio**

El área de estudio abarcó cuatro sitios diferentes, tres de ellos dedicados a actividades ganaderas en sus diferentes modalidades, y uno más, que correspondió al ecosistema característico de la zona, un acahual de selva baja caducifolia de una edad aproximada de 50 años. En este no se han realizado actividades ganaderas y se tomó como una referencia para contrastar con los otros sitios. A continuación, se describen de forma general cada uno de éstos. Estos se denominaron: sistema silvopastoril (Ssp), sistema de pastizal con árboles (Spa), sistema de pastoreo tradicional (Spt) y acahual (Ac), mencionado anteriormente., mismos que se describen en detalle a continuación.

##### **4.4.1. Sistema silvopastoril (Ssp)**

Un sistema silvopastoril de seis años de establecido en donde se tiene la presencia de diferentes tipos de árboles maderables como cedro (*Cedrela odorata* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* King), roble (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC), melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y solerillo (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham. ex A. DC.) los que integran el actual dosel, mientras que el estrato herbáceo está dominado principalmente por las gramíneas *Cynodon plectostachius*, *Cynodon nlemfluensis* (pasto estrella) y algunas gramas nativas. Los árboles fueron establecidos en el año 2012 y actualmente no se han reportado aun floraciones (Figura 3).

Previo al establecimiento de este tipo de sistema se tienen registradas actividades ganaderas de tipo extensivo por aproximadamente 20 años de acuerdo a la información proporcionada por los propietarios y anterior a esto actividades agrícolas, principalmente relacionadas con el cultivo de maíz junto con sus labores de manejo que esto implicaba, (preparación del terreno, control de malezas, etc.), son reportadas como las principales de la zona.

Actualmente el sistema silvopastoril se emplea para pastoreo temporal de bovinos y corte de forraje que realiza el productor para su conservación y posterior suministro al ganado. Por otra parte, los arboles están completamente establecidos y generan diferentes beneficios entre los más evidentes son los relacionados a la sombra para el ganado.



**Figura 3. Vista general del sistema silvopastoril con árboles maderables.**

#### 4.4.2. Sistema de pastizal con árboles y vegetación natural (Spa)

Es un sistema de pastoreo con un dosel arbóreo de más de 20 años de edad en el que predominan árboles de *Diphysa robinoides* Benth (quebrache), esparcidos de forma homogénea en todo el terreno (Figura 4). El sitio presenta también un estrato herbáceo dominado por especies de la familia Poaceae, que se hacen más evidente bajo la copa de los árboles. En los claros que se encuentran al interior del terreno se desarrollan individuos del estrato herbáceo entre las que destacan especies de la familia Malvaceae y Euphorbiaceae. Este sitio se ha dedicado a actividades ganaderas desde hace 20 años, y previo a ello eran realizadas actividades agrícolas que incluían el cultivo del maíz, frijol, ajonjolí y en ocasiones pepino. La producción de estos cultivos incluía el uso de rastra para la preparación del terreno.



**Figura 4. Sistema de pastizal con árboles característicos de la vegetación natural, con árboles conocidos como “Quebrache” (*Diphysa robinoides* Benth).**

#### **4.4.3. Sistema de pastoreo tradicional (Spt)**

La zona denominada sistema de pastoreo tradicional, está caracterizada por la utilización de la vegetación típica de la zona para la alimentación del ganado (Figura 5). Esta pertenece mayormente al estrato herbáceo. Las principales formas vegetales que se observan en campo incluyen a especies de hoja ancha y bejucos, esta zona se destina para el encierro y pastoreo de becerros y en ocasiones para ganado adulto. El suelo no parece ser homogéneo, pues en algunas partes se observan afloramientos pedregosos y en otras suelo desnudo, o un suelo más suelto y ligero, que en el pasado limitó en cierto grado el aprovechamiento de la zona para la producción agrícola, la cual se desarrolló solo en las zonas más adecuadas del terreno tomando en cuenta el tipo de suelo y la pendiente y donde se sembraba maíz principalmente.



**Figura 5. Vista general del sistema de pastoreo tradicional.**

#### **4.4.4. Acahual (Ac)**

La zona de acahual se tomó como punto de referencia respecto a los sitios mencionados anteriormente. Este sitio, cuya composición de especies es conocida como vegetación secundaria tiene aproximadamente 50 años y prácticamente se ha mantenido sin modificaciones hasta la fecha (Figura 6). En este sitio es posible notar una cubierta vegetal muy cerrada integrada principalmente por especies del estrato arbustivo y arbóreo, con alto sombreado del sotobosque, lo cual no permite el desarrollo de una vegetación herbácea abundante. La vegetación arbustiva tiene entre dos y cinco metros de altura, mientras que la arbórea llega a superar en algunos casos más de diez metros.



**Figura 6. Vista general del interior de la zona de acahual.**

Para todos los sitios, pero en especial para los que están sujetos a actividades ganaderas, cabe mencionar que todos tienen una característica en común, y es el estar cerca de zonas en donde la vegetación presenta cierto grado de regeneración vegetal.

Es decir, zonas en las que las actividades agrícolas o ganaderas han cesado hace algunos años y en donde los procesos de sucesión vegetal se presentan en diferentes etapas. Más adelante se discutirán los efectos que estas condiciones de vegetación pueden tener sobre el banco de semillas del suelo, punto medular de esta investigación.

#### **4.5. Toma de muestras del banco de semillas del suelo**

Entre el primero y dos de junio de 2017 y posterior a un fuerte evento de lluvia, en cada uno de los sistemas de pastoreo se seleccionaron seis puntos de muestreo a partir de números aleatorios. En cada punto se colocó un cuadrante de metal de 50 cm x 50 cm y en el centro de este se trazó un perímetro de 17 cm x 20 cm. (Anexo 2). Las muestras se tomaron a dos profundidades, de 0-5 y >5 -10 cm, cada capa de suelo se extrajo cuidadosamente para evitar su desintegración al momento de la extracción, y se colocaron en charolas de plástico de 17.5 cm x 21.5 cm cuyo fondo tenía perforaciones para permitir el flujo del exceso de agua, además de una capa de arena de 1 cm para facilitar el drenaje. Se colectó un total de 48 muestras, 12 por cada sitio a las dos diferentes profundidades.

Las charolas se etiquetaron y se trasladaron a un área de sombreadero en el Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados, donde fueron colocadas en mesas de trabajo, a una altura respecto del suelo de 90 cm. Enseguida se procedió a regar cuidadosamente con ayuda de una regadera a fin de humedecer el suelo y estimular la germinación de las semillas contenidas en la muestra.

El periodo de observación para colectar las especies germinadas en el banco de semillas del suelo fue desde que se colectaron a inicios del mes de junio hasta finales del mes de diciembre de 2017. Lo anterior tomando en cuenta la estacionalidad que presenta la vegetación en la zona de estudio, pues su desarrollo se ve favorecido durante la temporada de lluvias y el inicio de la etapa de senectud se da durante los meses de otoño-invierno.

## **4.6. Caracterización de los sitios de estudio**

### **4.6.1. Variables edáficas**

Para el análisis de las características físicas, químicas y biológicas (macrofauna) del suelo se realizó lo siguiente:

En los mismos puntos de muestreo del banco de semillas se colectó suelo para integrar una muestra compuesta y realizar los análisis correspondientes. Las muestras de suelo se tomaron a un lado de cada punto de donde se obtuvieron las muestras de banco de semillas con ayuda de una pala recta. Una vez que se tenía el perfil, este se dividió considerando una profundidad de 0-5 y >5-10 cm. Cada porción de suelo se colocó en una bolsa plástica, se homogenizó, se etiquetó y posteriormente fue trasladada al laboratorio de agua-suelo-planta del Campus Veracruz para su procesamiento y análisis. La determinación de las características físicas y químicas del suelo abarcó los análisis mostrados en el Cuadro 2. Todos los análisis con excepción del relacionado a los nutrientes solubles, se realizaron en apego a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, se retiró de forma manual las rocas y la materia orgánica visible para realizar la molienda con un mazo de madera. Las muestras molidas se pasaron por un tamiz de 2 mm de abertura (malla 10) y se almacenaron para su análisis. Las variables físicas, químicas y biológicas que se analizaron fueron las siguientes:

#### **4.6.1.1. Físicas**

Textura: se basa en la proporción relativa por tamaños de partículas de arena, limo y arcilla. Las cuales al combinarse generan las clases texturales. Se define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas y proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo

#### **4.6.1.2. Químicas**

pH: valor reducido en el que se expresa la medida de la actividad de los iones hidrógeno y aluminio en un suelo húmedo.

Conductividad eléctrica (C.E.): La C.E. de una solución es el recíproco de la resistencia específica de una corriente alterna e indica la concentración salina del suelo.

Materia orgánica: evaluada a través del contenido de carbono con el método de Walkey and Black.

Nutrientes solubles: expresados como nitritos, fosforo y potasio a través de la adaptación Hanna Instruments del método fotométrico.

**Cuadro 2. Análisis y métodos empleados para determinar las características físicas y químicas del suelo.**

Análisis	Método empleado
Textura (arena, arcilla y limo)	Método AS-09- Bouyoucos
pH	Método AS-02- Electrométrico
Conductividad Eléctrica	Método AS-18- Conductimétrico
Materia Orgánica	Método AS-07- Walkley y Black
Nutrientes Solubles (nitritos, potasio y fosforo)	Método fotométrico. Con equipo Hanna Instruments Modelo HI 83225

**4.6.1.3. Biológicas: Determinación de macrofauna edáfica**

La metodología empleada para la estimación de la macrofauna edáfica fue la sugerida por Anderson e Ingram (1993) por medio del monolito TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), partiendo de la definición de macrofauna como aquellos organismos del suelo que miden más de 1 cm de largo o una anchura o diámetro de más de 2 mm (Bignel *et al.*, 2012).

Se realizaron dos muestreos durante la temporada de lluvias, el primero al inicio el 1° de junio de 2017 y el segundo cuando la estación lluviosa se había establecido completamente, el día 28 de julio del mismo año. Para ello, adjunto al punto de muestreo del banco de semillas, se delimitó un cuadrante de 50 cm x 50 cm y en el centro de este se trazó un perímetro de 20 x 20 cm., a partir del cual se extrajo un monolito de 20 cm de altura. Este fue seccionado en dos partes, considerando una profundidad de 0-10 cm y >10-20 cm de profundidad. Cada una de las secciones del monolito fueron colocadas en bolsas plásticas, etiquetadas y trasladadas también al laboratorio para su procesamiento.

Una vez en el laboratorio, las muestras se extendieron sobre una mesa para su revisión minuciosa, con ayuda de una lámpara de luz fluorescente y lente de aumento y se colectaron todos los organismos presentes, los cuales fueron colocados en frascos de plástico con una solución fijadora de formol al 10 %.

Posteriormente, los organismos colectados en cada una de las muestras fueron clasificados y agrupados por orden taxonómico al que pertenecían de acuerdo a lo sugerido por Barois 2017 (comunicación personal), con ayuda de un microscopio estereoscópico. Para fines de registro se tomó en cuenta el Orden al que pertenecían cada uno, así como el número de individuos.

#### **4.6.2. Manejo agronómico**

La información relacionada con las actividades de manejo e historial de uso del suelo de cada uno de los sitios se realizó a través de entrevistas semiestructuradas con los propietarios durante recorridos de campo. De manera general se buscó identificar las principales labores de manejo que se han implementado y bajo qué condiciones han sido utilizados los sitios en años anteriores y con esto poder inferir si dichas actividades e insumos utilizados pudieron influir o no, en las características del banco de semillas el suelo.

A fin de establecer una medida que pudiera tomarse como referencia para el efecto que tienen las actividades de manejo al interior de los agroecosistemas de pastoreo, a las actividades registradas se les asignó un valor de acuerdo al posible impacto que podrían tener sobre el banco de semillas del suelo, de acuerdo a la metodología de Sagar *et al.*, 2003 con modificaciones, en donde asignan valores, de menor a mayor de acuerdo al impacto de cada una de las actividades que se realizan en un sitio en específico, para finalmente obtener un régimen de disturbio con un impacto relativo estimado.

#### **4.7. Análisis de los datos**

Los datos obtenidos en campo fueron capturados en hojas de cálculo de Microsoft Excel para su ordenamiento y clasificación. Se crearon bases de datos para la información relacionada con la biodiversidad de especies vegetales, en ellas se consideró el registro de las especies germinadas, así como el número de individuos de cada una de ellas. Los datos relacionados con la macrofauna del suelo se trataron de la misma forma, a excepción de que estos fueron clasificados por orden y no por especie, tomando en cuenta también el número de individuos de cada uno.

Los datos referentes a los resultados del análisis de suelo, así como los parámetros climatológicos registrados se capturaron en hojas de cálculo de Excel para tomar la información como referencia en el presente trabajo.

#### 4.7.1. Diversidad del banco de semillas

Respecto a las plantas germinadas en las muestras de suelo para determinar el banco de semillas, las especies germinadas se colectaron una vez que presentaron flores y a través de claves de identificación taxonómica, para identificar géneros (Nee, 1986; Rzedowsky y Rzedowsky, 2005) y en otros casos se utilizaron bases de datos en línea (CONABIO, 2018) para identificar algunas especies. Para verificar que las especies germinadas en las muestras de suelo fueran las correctas, los ejemplares herborizados se cotejaron con los ejemplares depositados en el Herbario XAL del Instituto de Ecología A.C. además de que se contó con el apoyo del personal del herbario.

Se realizó un análisis exploratorio y descriptivo de los datos para determinar:

- La riqueza específica: que comprende el número total de especies por sitio de muestreo (Villarreal *et al.*, 2006). Dentro de esta se considera información relacionada al número total de familias botánicas y el nombre científico de las especies
- La abundancia: es la cantidad o el tamaño de una población registrada en el sitio de muestreo.
- La abundancia relativa: es la proporción de observación de cada una de las especies encontradas en la muestra (Villarreal *et al.*, 2006).

En otras palabras, es el porcentaje con que contribuye cada especie al conjunto de la comunidad de especies. Esta se calcula como:

$$\text{Abundancia Relativa.} = (\text{No. De individuos} / \text{Total de individuos}) * 100$$

- Frecuencia: La probabilidad de encontrar uno o más individuos en una unidad muestral y se expresa como número o porcentaje respecto al total.
- Familia botánica: definida como la categoría o rango donde se encuentran todos los taxa formados por géneros (Ponce *et al.*, 1953).
- La forma biológica: principal hábito de crecimiento, pudiendo ser hierba, arbusto o árbol.
- Densidad de semillas: es la abundancia de semillas que existe por m<sup>2</sup> (Cardenas *et al.*, 2002; Cano *et al.*, 2012).

Además de esta información, se buscó determinar los indicadores que pudieran estimar el estado actual de la biodiversidad del banco de semillas del suelo en los sitios estudiados, los cuales fueron los siguientes:

- Índice de Shannon: asume que todas las especies se encuentran representadas en la muestra y que todos los individuos fueron muestreados al azar. Este fue determinado a través del siguiente modelo:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$

- Índice de Shannon Max: sugiere el valor que podría alcanzar el índice si todas las especies presentaran las mismas abundancias relativas. Se expresa de la siguiente forma:

$$H' \text{ Max} = \log S$$

- Equidad: se refiere a que tan homogéneamente están distribuidas las abundancias de las especies en la comunidad (Badano, 2013).
- Dominancia: se refiere a que tan desigualmente se encuentran distribuidas las abundancias de las especies en la comunidad (Badano, 2013).
- Índice de Chao-Sorensen: es un índice empleado para estimar la similitud de comunidades basado en probabilidad, que reduce el sesgo del submuestreo por la estimación y compensación para los efectos de especies compartidas no detectadas (Chao *et al.*, 2005).

La base de este índice se expresa como sigue:

$$I_{S \text{ cuant}} = \frac{2pN}{aN + bN}$$

Donde:

$aN$  = número total de individuos en el sitio A

$bN$  = número total de individuos en el sitio B

$pN$  = sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios (Villarreal *et al.*; 2006).

Los datos para establecer la similitud y las especies compartidas entre cada uno de los sitios se obtuvieron por medio del programa EstimateS versión 9.1.0

Para determinar si existían diferencias entre la riqueza de especies de los sitios se realizó la estimación de la riqueza promedio por muestra, se obtuvo la desviación estándar y los intervalos

de confianza del 95 % para establecer los límites inferior y superior de los promedios de riqueza de especies de cada uno de los sitios de estudio.

El procedimiento mencionado anteriormente se realizó tomando en cuenta que los conteos de las especies registradas corresponden al tipo de variable discreta, por lo que el análisis a través de estadística inferencial se considera el más adecuado.

Además de los intervalos de confianza, a los datos relacionados con riqueza y abundancia se les aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, que es la versión no paramétrica de ANOVA para más de dos muestras, con un nivel de significancia  $p=0.05$

Se obtuvo el índice de Shannon para cada una de las muestras de los diferentes sitios y a las dos diferentes profundidades de muestreo de la siguiente forma:

- Se identificó el número total de individuos por sitio
- Se calculó la abundancia relativa ( $p_i$ ) de cada una de las especies registradas
- Se calculó el logaritmo ( $\ln$  o  $\log_{10}$ ) de  $p_i$ . En el presente trabajo se empleó el logaritmo natural
- El resultado del logaritmo natural de  $p_i$  se multiplicó por la abundancia proporcional ( $p_i$ ) estimada inicialmente
- La sumatoria del resultado de  $\ln(p_i)$  generan el índice de Shannon para cada muestra. Como el resultado fue dado en negativo este se multiplicó por menos uno para obtener un valor positivo.

Similar al procedimiento seguido para determinar diferencias entre la riqueza de los sitios, con los valores del índice de Shannon obtenidos para cada una de las muestras se estimaron valores promedio, la desviación estándar, así como un intervalo de confianza del 95 %. Con lo anterior se construyeron los límites inferior y superior para los valores promedio del índice de Shannon de cada uno de los sitios de estudio.

La equidad se estimó a partir de los valores del índice de Shannon de cada muestra, se consideró también el número de especies por muestra ( $S$ ) al cual se le determinó su logaritmo natural para posteriormente obtener el índice de equidad a través de la multiplicación del  $\ln(S)$  por el valor del índice de Shannon. Con los valores de equidad de cada una de las muestras colectadas por sitio se

estimó el valor promedio de la equidad, la desviación estándar y el intervalo de confianza del 95 % para establecer el límite inferior y superior para el valor promedio de cada sitio.

La dominancia de especies para cada sitio se estimó tomando en cuenta el cociente que resulta de la división del valor de la especie más abundante entre el total de especies para cada una de las muestras por sitio. De este resultado se obtuvo el promedio por cada sitio y su desviación estándar. Posteriormente se calcularon intervalos de confianza del 95 % para establecer los límites superior e inferior y con esto determinar si existen diferencias significativas entre cada uno de los sitios a las diferentes profundidades a las que se realizaron las observaciones.

El índice de similitud de Chao-Sørensen se calculó a través del programa EstimateS, tomando en cuenta los datos de abundancia de cada una de las especies registradas de las muestras de suelo.

La densidad de semillas/m<sup>2</sup> se estimó haciendo una extrapolación del número de plantulas germinadas en las bandejas, tomando en cuenta la superficie que estas representaron de tal forma que se pudiera tener una aproximación del total de semillas/m<sup>2</sup> en cada uno de los sitios.

Para estimar la similitud de los sitios en cuanto a la composición de especies vegetales, se desarrolló el índice de similitud de Sørensen (modificado por Chao *et al.*, 2005) basado en la abundancia de las especies.

En este caso, se optó por el uso de esta versión del índice ya que los autores describen una mejora sustancial en cuanto al resultado que arroja cuando se consideran, además de los datos de presencia y ausencia de las especies, los datos de abundancia sumado a la incorporación del efecto de las especies compartidas, pero no vistas, lo que además de incrementar la exactitud puede afectar la interpretación de los resultados.

El análisis de la información referente a la biodiversidad de la macrofauna del suelo se realizó siguiendo el mismo procedimiento aplicado para la biodiversidad del banco de semillas del suelo mencionado anteriormente.

Se realizó un análisis de componentes principales para identificar, cual o cuales variables están relacionadas con la biodiversidad de la vegetación eran las que podrían estar correlacionadas e identificar mejor a cada uno de los agroecosistemas en estudio.

Para determinar si existía algún tipo de correlación entre las variables, físicas, químicas y biológicas del suelo con la riqueza y diversidad del banco de semillas del suelo, se aplicó a los datos obtenidos la prueba de correlación de rangos Spearman para datos no paramétricos.

A las actividades de manejo se les asignó un valor de acuerdo al posible impacto que puede tener cada una sobre el banco de semillas del suelo, y así, contemplar desde la que tiene un mayor hasta un menor impacto., lo anterior siguiendo la metodología de Sagar *et al.* (2003) con modificaciones. Al final se obtuvo un indicador que muestra cuál de los sitios es el que recibe una mayor cantidad de actividades de manejo.

Finalmente se realizó un Análisis de Correspondencias Canónicas a fin e integrar la información relacionada a las especies vegetales presentes en el banco de semillas, las características más relevantes del suelo, así como las actividades de manejo realizadas en cada uno de los agroecosistemas

La prueba de Kruskal-Wallis ( $P < 0.05$ ), el análisis de componentes principales, el análisis de correspondencias canónicas y las correlaciones de Spearman, se realizaron utilizando los complementos del paquete estadístico XL-STAT incluidos en Microsoft Excel 2016.

Las gráficas de barras se desarrollaron empleando el Software Sigma-Plot 10.0

## **5. RESULTADOS**

A continuación, se describen los resultados obtenidos para las variables que se consideraron en el presente trabajo. Se abordarán los resultados respecto a las características físicas, químicas y biológicas de suelo, las condiciones climáticas durante la germinación de las semillas de las muestras del suelo, las características de la diversidad vegetal a las diferentes profundidades, las actividades de manejo de los sitios de estudio, para posteriormente pasar a la sección de discusiones.

### **5.1. Características físicas y químicas del suelo en los agroecosistemas en estudio**

El Cuadro 3 muestra los resultados del análisis de las muestras de suelo, a una profundidad de 0-5 tuvieron una textura de tipo franco arenosa (Ssp, Ac), y areno francosa (Spt, Spa), en donde los porcentajes de arcilla fueron menores en el Spt con 5.95 % y mayores en el Ac con 11.98 %. Para

el caso del contenido de limo, este fue menor en el Spa con un 4 % y máximo en el Ssp con un 18 %. La materia orgánica del suelo se encontró en un rango que fue de 2.4 a 3.1 %. Los mayores contenidos de materia orgánica (3.1 %) se tuvo a una profundidad de 0 -5 y menor de >5-10. Los mal altos contenidos de materia orgánica se registraron en el Ac (3.1.), Ssp (2.9), y menor en el Spt (2.6) y Spa (2.4). El valor mas bajo de materia orgánica se tuvo a una profundidad de >5-10 en el Spa. En general, todos los sitios se clasifican con un contenido medio en cuanto a materia orgánica, de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Los valores de pH del suelo se ubicaron en ligeramente alcalino (NOM-021-SEMARNAT-2000), con valores de entre 7.3 y 7.7. Los valores de conductividad eléctrica (C.E.) estuvieron en una escala de baja C.E. con valores 0.3 a 0.6, encontrandose una tendencia de mayor C.E. a la menor profundidad (0-5) respecto a la mayor profundidad (> 5-10).

Los resultados sitúan a los suelos de la zona de estudio dentro de una clase media para suelos no volcánicos, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

En cuanto a la fertilidad del suelo, los valores de referencia de cada uno de los agroecosistemas se presentaron de la siguiente forma:

**Cuadro 3. Características físicas y químicas del suelo de los diferentes agroecosistemas en estudio**

Variable	Unidad	Sistema Silvopastoril		Pastizal con Árboles		Pastoreo Tradicional		Acahual	
		0-5	>5-10	0-5	>5-10	0-5	>5-10	0-5	>5-10
<b>pH</b>	Escala de pH	7.6	7.7	7.4	7.3	7.5	7.6	7.4	7.5
<b>CE</b>	dS m <sup>-1</sup>	0.6	0.4	0.5	0.3	0.5	0.3	0.4	0.4
<b>M.O.</b>	%	2.9	2.2	2.4	1.3	2.6	2.0	3.1	2.4
<b>Textura</b>	Clase de textura	Fr. Are	Fr. Are	Fr. Are.	Fr. Are	Fr. Are.	Fr. Are.	Fr. Are	Fr. Are
<b>Nitrato</b>	Mg L <sup>-1</sup>	2.5	4.5	8.0	7.0	40.0	19.0	11.0	6.0
<b>Fósforo</b>	mg/L <sup>-1</sup>	6.5	4.5	5.0	2.5	2.5	1.0	2.0	2.0
<b>Potasio</b>	mg/L <sup>-1</sup>	160	200	80	69	88	22	80	42

## 5.2 Características biológicas del suelo en los agroecosistemas en estudio

Se consideró a la macrofauna edáfica como elemento biológico del suelo. El Cuadro 5 muestra la abundancia total de los organismos y el orden al que pertenecen.

Se determinó la fauna edáfica en cada sitio a una profundidad de 0-10 y de >10 -20 cm. Se encontró que tanto la riqueza como abundancia de la macrofauna fue mayor en los primeros 10 cm del suelo. Solo se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P= 0.05$ ) entre el Spa con el resto de los agroecosistemas a la profundidad de >10 cm. Los organismos colectados fueron agrupados por orden taxonómico y se estimaron indicadores de diversidad de la macrofauna del suelo. Se encontró que el valor mas alto de diversidad específica de ordenes de macrofauna fue mayor en los primeros diez centímetros de profundidad (0-10 cm) registrando doce diferentes ordenes en el Ssp y el Ac. No se encontraron diferencias estadísticas entre agroecosistemas a estudio respecto al índice de Shannon (Cuadro 4). Hubo una tendencia de valore mas altos en el Ac y en el Ssp en las tres profundidades en las cuales se realizó el muestreo.

**Cuadro 4. Indicadores de biodiversidad para la macrofauna del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo**

Indicador	Agroecosistema	Profundidad		
		0-10	>10-20	0-20
Riqueza	Ssp	12 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	13
	Spa	6 <sup>ab</sup>	6 <sup>a</sup>	8
	Spt	8 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	9
	Ac	12 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	13
H'	Ssp	1.10 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>
	Spa	0.63 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.69 <sup>a</sup>
	Spt	0.88 <sup>a</sup>	0.27 <sup>a</sup>	1.10 <sup>a</sup>
	Ac	1.23 <sup>a</sup>	0.63 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>
H' Max	Ssp	3.58	2.81	3.70
	Spa	2.58	2.58	3.00
	Spt	3.00	2.00	3.17
	Ac	3.58	2.81	3.70
Equidad	Ssp	0.65 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>
	Spa	0.51 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>	<b>0.51<sup>ab*</sup></b>
	Spt	0.87 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	<b>0.88<sup>b*</sup></b>
	Ac	0.72 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	0.73 <sup>ab</sup>
Dominancia	Ssp	0.59 <sup>a</sup>	<b>0.78<sup>a*</sup></b>	0.56 <sup>a</sup>
	Spa	0.76 <sup>a</sup>	0.54 <sup>ab</sup>	0.74 <sup>a</sup>
	Spt	0.57 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>
	Ac	0.54 <sup>a</sup>	<b>0.15<sup>b*</sup></b>	0.52 <sup>a</sup>

\* Medias en negritas son estadísticamente diferentes con un valor de  $\alpha=0.05$  aplicando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis

Los valores de H' Max fueron mayores para el Ssp y Ac a la profundidad de 0-10 cm

Tampoco se encontraron diferencias estadísticas ( $P>0.05$ ) respecto a la dominancia de ordenes de macrofauna entre sitios en las diferentes profundidades a las que se colectaron los organismos, con excepción del Ssp y el Ac en donde se presentaron valores de 0.78 y 0.15 cada uno. En todos los

casos, se encontró una mayor riqueza para la menor profundidad (0-10 cm) respecto a la profundidad de > 10-20 cm. Los ordenes mayormente representados en el Ssp fueron Haplotaxida, Isoptera, e Hymenoptera, para Spa y Spt fueron Haplotaxida y Colóptera, y para Ac fue Diptera.

**Cuadro 5. Total de ordenes encontradas en cada sitio a las diferentes profundidades del suelo**

Órdenes	Ssp 0<10	Spa 0<10	Spt 0<10	Ac 0<10	Ssp 10<20	Spa 10<20	Spt 10<20	Ac 10<20
<b>Hymenoptera</b>	71	-	-	2	-	13	1	2
<b>Haplotaxida</b>	103	59	24	5	4	6	-	-
<b>Araneae</b>	9	-	-	5	3			2
<b>Coleoptera</b>	12	23	10	8	2	2	7	2
<b>Lepidoptera</b>	1	4	1	1	4	1	2	
<b>Diplopoda</b>	6	-	2	-	1	-	-	1
<b>Geophilomorpha</b>	9		2	6	-	1	-	1
<b>Isoptera</b>	108	1	-	-	1	-	-	-
<b>Prostigmata</b>	1	-	-	8	-	-	-	-
<b>Isopoda</b>	10	-	-	8	-	-	-	2
<b>Blatodea</b>	-	-	-	-	1	-	-	-
<b>Dermaptera</b>	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Mesostigmata</b>	-	-	-	9				
<b>Diptera</b>	1	3	2	14	-	-	-	-
<b>Julida</b>	-	4	-	9		4		1
<b>Hemiptera</b>	-	-	1	-	-	-	-	-
<b>Helicita</b>	-	-	5	1	-	-	3	-
<b>Total de Familias</b>	12	6	8	12	7	6	4	7
<b>Total de individuos</b>	332	94	47	76	16	27	13	11

De la información obtenida para la macrofauna del suelo es importante señalar que el mayor número de ordenes se encontró en el sistema silvopastoril y el acahual, al igual que para la abundancia total de organismos, siendo esta ultima superior en el sistema silvopastoril con un total de 332 individuos. De los cuales la mayoría se ubicaron en el orden Isóptera, Haplotaxida e Hymenoptera, donde se incluyen a las termitas, lombrices y hormigas respectivamente.

La mayor riqueza de fauna edáfica se registró en el Ssp (332) y fue menor en Spa (94), Ac (76) y Spt (47) a una profundidad de 0-10 cm. A una profundidad de >10-20 cm la mayor riqueza se registró en Spa (27), y fue menor en Ssp (16), Spt (13) y Ac (11).

### 5.3. Actividades de manejo en los diferentes agroecosistemas de pastoreo

El Cuadro 6 muestra las principales actividades de manejo que se realizan en los diferentes sitios. A cada una de las actividades le fue asignado un valor que va desde un mayor a un menor impacto

en el banco de semillas del suelo. La suma total generó un indicador para el nivel de manejo en cada uno de los agroecosistemas.

De acuerdo a la información proporcionada por los encargados de los diferentes sitios, se determinó que el mayor nivel de perturbación por las actividades de manejo que se realizan se tiene en el Ssp, seguido del Spt y el Spa. El acahual fue el que presentó el menor valor pues técnicamente es un sitio que no está sujeto a ninguna actividad de manejo por parte del productor.

En la profundidad de 0 a 5 cm, a pesar de que no hubo diferencia significativa entre la riqueza de especies, el mayor número de estas se presentó en el sistema de Spt, cuando se toma en cuenta que las actividades agrícolas previas donde se incluye la labranza del suelo, son de las que afectan mayormente el banco de semillas del suelo. Se puede considerar que el hecho de que esta actividad no fue realizada en el Spt, por las condiciones del terreno mencionadas anteriormente, puede ser uno de los motivos, junto a los procesos de dispersión de semillas realizados por el ganado, los que conducen a un estado de riqueza y diversidad alta en este sitio respecto a los demás.

La misma condición se presenta en la profundidad de 5 a 10 cm, pues la riqueza de especies y la diversidad estimada por el índice de Shannon fueron mayores que en el acahual y en el pastizal con árboles.

En la profundidad de 5 a 10 cm, nuevamente, para riqueza y diversidad de especies, el sistema de pastoreo tradicional y el sistema silvopastoril tuvieron los valores más altos sin que existiera diferencia significativa entre los sitios.

Los resultados de riqueza y diversidad de especies del sistema de pastoreo tradicional y del sistema silvopastoril son los mejores en un contexto donde se busca fomentar el desarrollo de la vegetación al interior de los agroecosistemas de pastoreo, pues aunque en la profundidad de 0 a 5 cm el acahual registró 30 especies, la contribución de las abundancias proporcionales de cada una de estas no incrementan la diversidad vegetal pues el índice de Shannon para este fue de 1.46, el menor de todos los sitios.

El banco de semillas al interior de los agroecosistemas tiene una función determinante cuando se considera como un elemento base para el inicio de los procesos de sucesión vegetal. Sin embargo, la capacidad de que la vegetación se establezca va a depender del estado en el que este se encuentre,

pues debido al gran numero de factores que interactúan dentro de los agroecosistemas, estos pueden incidir positiva o negativamente sobre sus características.

En ecosistemas no perturbados o con una minima perturbación, el banco de semillas puede desarrollarse a partir del momento en que las semillas encuentran las condiciones adecuadas para su germinación, lo cual se da principalmente cuando una perturbación abre una brecha entre la vegetación en pie. En este caso, las especies que germinan, cuando las condiciones fisiológicas lo permiten, corresponden a la vegetación que se encuentra cerca y a menudo de especies pioneras capaces de arribar y germinar rápidamente. A diferencia de los agroecosistemas, donde la dinámica del arribo y pérdida de semillas presenta un ritmo mas constante, y donde a menudo las especies no son las que originalmente correspondieron al sitio, los ecosistemas naturales presentan un nivel de estabilidad y menor grado de perturbación que hace que las características de los bancos de semillas difieran ampliamente de los que se encuentran en zonas de uso agropecuario.

**Cuadro 6. Relación del banco de semillas con las principales actividades de manejo agrícolas realizadas en los agroecosistemas estudiados**

El cuadro siguiente sugiere que el agroecosistema con un mayor nivel de manejo es el sistema silvopastoril.

<b>Actividad de manejo</b>	<b>Sistema silvopastoril</b>	<b>Sistema deastizal con árboles</b>	<b>Sistema de pastoreo tradicional</b>	<b>Acahual</b>
<b>Chapeo</b>	0.04	0	0.04	0
<b>Aplicación de agroquímicos</b>	0.34	0	0.34	0
<b>Uso de fuego</b>	0.00	0	0	0
<b>Fertilización</b>	0.10	0	0	0
<b>Labranza</b>	0.12	0.12	0	0
<b>Carga animal</b>	0.16	0.16	0.16	0
<b>Cultivos agrícolas previos</b>	0.14	0.14	0	0
<b>Tiempo bajo el mismo manejo</b>	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Total</b>	<b>0.92</b>	<b>0.44</b>	<b>0.56</b>	<b>0.02</b>

## 5.4. Banco de semillas

### 5.4.1. Germinación

Durante el periodo de germinación de las muestras del banco de semillas se registraron las condiciones ambientales de la zona donde se ubicaron dichas muestras. Se consideró el registro de la temperatura, humedad relativa promedio mensual y total de semillas germinadas (Figura 8). La temperatura media de mayo a diciembre fue de 26 °C con valores máximo y mínimo de 28.0 y 20.9 respectivamente. La humedad relativa alcanzó un máximo valor (69.1 %) en el mes de diciembre, pero en promedio fue de 63.9 %. La germinación de semillas se dio principalmente al inicio de las observaciones, durante el mes de junio y durante octubre y noviembre. Cabe recalcar que el clima de la zona de estudio es de tipo Aw<sub>2</sub> considerado el más húmedo de los subhúmedos.

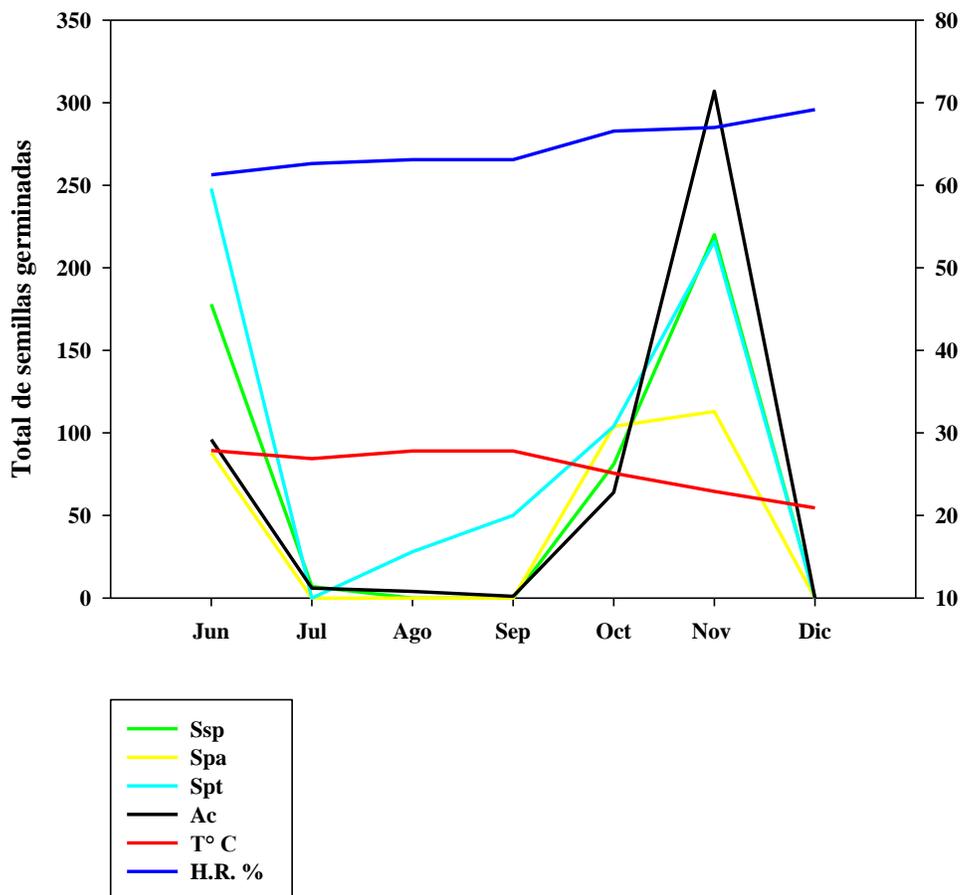


Figura 7. Valores promedio mensuales de temperatura y humedad relativa, así como el total de semillas germinadas durante las observaciones del banco de semillas del suelo.

### 5.4.2. Riqueza de especies y familias

Se encontró que el total de familias y especies del banco de semillas (Cuadro 7). a partir de la germinación de muestras de suelo en diferentes agroecosistemas, y a las dos profundidades fue de 23 familias y 79 especies (Anexo 3)

**Cuadro 7. Total de familias y especies vegetales identificadas en el banco de semillas del suelo**

FAMILIAS	0-5 cm				> 5-10 cm			
	Ssp	Spa	Spt	Ac	Ssp	Spa	Spt	Ac
<b>Acanthaceae</b>	2	2	1	3	2	2	3	3
<b>Amaranthaceae</b>	1	-	-	2	-	-	-	-
<b>Asteraceae</b>	2	-	-	1	2	-	-	1
<b>Boraginaceae</b>	1	1	-	1	1	1	-	1
<b>Commelinaceae</b>	-	1	1	-	-	-	-	-
<b>Convolvulaceae</b>	-	-	1	-	-	-	1	-
<b>Cucurbitaceae</b>	-	1	1	-	-	-	-	-
<b>Cyperaceae</b>	-	-	-	2	-	-	3	1
<b>Euphorbiaceae</b>	4	3	4	2	4	3	4	2
<b>Fabaceae</b>	4	3	6	-	2	-	3	-
<b>Loganiaceae</b>	-	-	-	1	1	1	1	1
<b>Malvaceae</b>	-	1	3	2	1	1	1	1
<b>Molluginaceae</b>	1	1	1	-	1	1	1	-
<b>N/I</b>	1	4	3	8	-	1	-	3
<b>Oxalidaceae</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Papaveraceae</b>	1	1	-	-	1	1	-	-
<b>Phyllanthaceae</b>	1	1	1	1	1	1	1	-
<b>Poaceae</b>	4	6	10	4	3	5	7	2
<b>Portulacaceae</b>	-	1	-	-	1	-	1	-
<b>Pteridofita</b>	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>Rubiaceae</b>	1	-	-	-	1	1	-	-
<b>Scrophulariaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	1
<b>Solanaceae</b>	4	1	1	-	3	-	2	2
<b>Verbenaceae</b>	-	1	-	1	-	-	-	-
<b>N° de familias</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>12</b>
<b>N° de especies</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>19</b>	<b>29</b>	<b>19</b>

El mayor número de familias taxonómicas se encontró en el Ssp en ambas profundidades (0-5 y >5-10) la profundidad de >0-5 y >5-10. El mayor número de especies vegetales se encontró en el Spt en ambas profundidades.

Respecto a la riqueza, que es el total de especies en cada uno de los sitios a diferente profundidad se encontró que fue mayor en los primeros cinco centímetros del suelo, sin que existieran diferencias estadísticas significativas (Cuadro 8). Cuando se comparó la riqueza de especies en la profundidad >5-10, el Spa difirió significativamente del resto de los sitios. Cuando se consideran ambas profundidades (0-10) destaca el Spt con un total de 45 especies y el Spa con 32. Una visión general de cada sitio a una profundidad única de >0-10 la misma variable destaca con el sistema de pastoreo tradicional con 45 especies como máximo y el pastizal con árboles con 32 como mínimo.

**Cuadro 8. Riqueza de especies vegetales del banco de semillas en cuatro diferentes sistemas de pastoreo a las diferentes profundidades del suelo.**

Profundidad (cm)	Riqueza Total				Riqueza Promedio			
	Ssp	Spa	Spt	Ac	Ssp	Spa	Spt	Ac
<b>0-5</b>	28	29	34	30	12 ± 2.42 <sup>a</sup>	9 ± 2.42 <sup>a</sup>	11.8 ± 3.25 <sup>a</sup>	9.5 ± 1.94 <sup>a</sup>
<b>&gt;5-10</b>	25	19	29	19	8.83 ± 1.92 <sup>a</sup>	5.5 ± 1.40 <sup>b</sup>	7.83 ± 3.05 <sup>ab</sup>	6.50 ± 1.94 <sup>ab</sup>
<b>0-10</b>	34	32	45	33	15.5 ± 2.95 <sup>a</sup>	11.5 ± 4.37 <sup>a</sup>	15.6 ± 4.27 <sup>a</sup>	12.5 ± 2.88 <sup>a</sup>

**Valores promedio con letras diferentes presentan diferencia significativa con  $\alpha= 0.05$  de acuerdo al intervalo de confianza calculado.**

La abundancia, expresada como el número total de plantulas germinadas en las muestras de suelo a la profundidad de 0-5 presentó diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis ( $P= 0.011$ ) entre el Spt con el Spa (Cuadro 9). Los valores de abundancia total de especies a la profundidad de 5-10 no tuvieron diferencias significativas ( $P=0.631$ ) entre si. En el caso de la abundancia total de especies por sitio a la profundidad de 0-10, al igual que para la primera profundidad, se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P= 0.026$ ) entre el Ssp y el Spt.

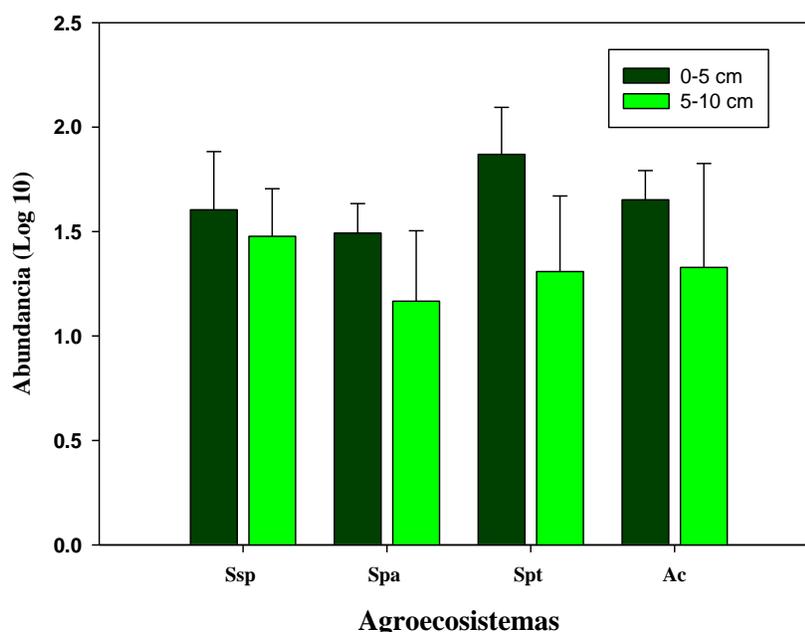
**Cuadro 9. Abundancia promedio de especies vegetales del banco de semillas en cuatro diferentes sistemas de pastoreo a las diferentes profundidades del suelo**

Profundidad (cm)	Abundancia Total				Abundancia Promedio			
	Ssp	Spa	Spt	Ac	Ssp	Spa	Spt	Ac
0-5	284	194	489	281	47 ± 28.31 <sup>a</sup>	32 ± 2.8.71 <sup>a</sup>	82 ± 3.25 <sup>ab</sup>	47 ± 14.41 <sup>a</sup>
>5-10	202	111	157	197	33.6 ± 17.72 <sup>a</sup>	18.50 ± 12.77 <sup>a</sup>	26.16 ± 17.83 <sup>a</sup>	32.83 ± 31.04 <sup>a</sup>
0-10	486	305	646	478	81 ± 44.94 <sup>a</sup>	50.83 ± 19.63 <sup>a</sup>	107.66 ± 46.60 <sup>ab</sup>	79.66 ± 37.40 <sup>a</sup>

**\* Valores promedio con literales diferentes presentan diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia corregido de Bonferroni = 0.0083**

El mayor número de semillas se encontró en el sistema de pastoreo tradicional, seguido del sistema silvopastoril, el acahual y el pastizal con árboles, con 646, 486, 478 y 305, esto cuando se consideran los diez primeros centímetros del suelo (Cuadro 9). Más del 50 % del total de las semillas germinadas se encontraron en los primeros cinco centímetros del suelo, siendo el sistema Spt el que presentó el mayor porcentaje de semillas germinadas, seguido del Ssp. El Spa y el Ac tuvieron porcentajes inferiores, respecto a los otros sitios en cuanto al total de semillas presentes en los primeros cinco centímetros del suelo. Cabe señalar que si bien, el Spa superó al Ssp y al Ac en cuanto al total de especies germinadas, el Spa fue el que presentó la menor abundancia. Estos valores se obtuvieron tomando en cuenta el total de individuos germinados como el 100 %.

Los valores de abundancia obtenidos en cada una de las muestras de suelo fueron convertidos a logaritmo base 10 (log 10) para determinar diferencias estadísticas en la abundancia de semillas entre sitios y a diferentes profundidades (Figura 9), observando que Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas (P=0.007) entre el Spt a 0-5 cm y el Spa de > 5-10 cm.



**Figura 8.** Abundancia de semillas en cada uno de los sitios a las diferentes profundidades en donde se realizaron las observaciones. Los datos fueron convertidos a logaritmo base 10 para su análisis.

#### 5.4.3. Principales tipos de especies vegetales germinadas en el banco de semillas del suelo

Las especies germinadas fueron clasificadas en dos grupos, monocotiledóneas y dicotiledóneas (Cuadro 10), siendo el primero grupo en donde se ubican los pastos, característicos de los sistemas de pastoreo. La mayor cantidad de especies pertenecieron al grupo de las dicotiledóneas, principalmente el Ssp, donde se ubicó la mayor cantidad, en ambas profundidades del suelo (0-5 y > 5-10). En la profundidad de 0-10 el mayor número de monocotiledóneas correspondió al Spa.

**Cuadro 10.** Total de monocotiledóneas y dicotiledóneas en los cuatro sistemas de pastoreo estudiados

Profundidad	Monocotiledóneas				Dicotiledóneas			
	Ssp	Spa	Spt	Ac	Ssp	Spa	Spt	Ac
<b>0-5</b>	1	7	11	6	27	22	23	23
<b>&gt;5-10</b>	3	6	10	3	22	13	19	16
<b>0-10</b>	6	7	14	7	28	25	31	26

Si bien el numero de monocotiledóneas fue menor con relación a las dicotiledóneas en todos los agroecosistemas, se encontro que los valores mas altos de abundancia se registraron en el Spt respecto a las demás en las profundidades de 0-5, > 5-10 y 0-10

#### 5.4.4. Principales especies germinadas para cada uno de los agroecosistemas

A continuación, se presentan las principales familias y especies germinadas, su clasificación botánica y la abundancia de cada una de ellas. La información de los Cuadros 11, 12, 13 y 14 esta basada en las seis primeras especies mas frecuentes que tuvieron el mayor número de individuos para cada una de las profundidades de suelo, lo que las hace tener el mayor grado de dominancia sobre el resto de las especies que integran la riqueza total del sitio. El listado completo de las especies puede consultarse en el Anexo 3.

**Cuadro 11. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en el sistema silvopastoril a las dos profundidades.**

Espece	Familia	0-5 cm
<i>Phyllanthus amarus</i>	Phyllanthaceae	40*
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	36
<i>Euphorbia imbricata</i>	Acanthaceae	24
<i>Euphorbia sp</i>	Euphorbiaceae	23
<i>Tridax procumbens</i>	Asteraceae	21
<i>Heliotropium angiospermum</i>	Boraginaceae	21
		<b>&gt;5-10 cm</b>
<i>Oxalis corniculata</i>	Oxalidaceae	36*
<i>Euphorbia imbricata</i>	Acanthaceae	30
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	29
<i>Euphorbia sp</i>	Euphorbiaceae	24
<i>Physalis gracilis</i>	Solanaceae	17
<i>Heliotropium angiospermum</i>	Boraginaceae	10

\*Número de individuos

En el pastizal con árboles, *O. corniculata* destaca como la principal especie que fue registrada en ambas profundidades con el mayor numero de individuos. Si bien tuvo el mayor numero de individuos, su aportación a la estructura herbácea de la vegetación es minima, pues el tamaño de esta especie en su etapa adulta es de pocos centímetros. En ambas profundidades se registraron especies pertenecientes a la familia Poaceae como *D. bicornis* en la profundidad de > 0-5 y *D. aegyptium* en ambas profundidades. La similitud de especies ente profundidades fue de  $0.97 \pm 0.13$ . Cuando se compara la similitud de las dos diferentes profundidades para cada uno de los sitios, no se encontraron diferencias significativas entre estas.

**Cuadro 12. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en el sistema de pastizal con árboles a las dos profundidades.**

Especie	Familia	0-5 cm
<i>Oxalis corniculata</i>	Oxalidaceae	36*
<i>Digitaria bicornis</i>	Poaceae	32
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Poaceae	29
<i>Desmodium triflorum</i>	Fabaceae	15
<i>Malvastrum coromandelianum</i>	Malvaceae	15
<i>Argemone mexicana</i>	Papaveraceae	12
		<b>&gt; 5-10 cm</b>
<i>Oxalis corniculata</i>	Oxalidaceae	30*
<i>Mollugo verticillata</i>	Molluginaceae	28
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Poaceae	11
SP-63	N/I	10
<i>Euphorbia sp</i>	Euphorbiaceae	7
<i>Euphorbia imbricata</i>	Acanthaceae	5

\* **Número de individuos**

Para el sistema de pastoreo tradicional (Spt), en ambas profundidades las especies de la familia Poaceae tuvieron el mayor número de individuos, aunque a diferencia de los dos sitios anteriores, el número de individuos en la profundidad > 5-10 fue considerablemente menor que en la profundidad 0-5. Sin embargo, el índice de similitud fue de  $0.80 \pm 0.28$  el cual no presentó diferencias estadísticas significativas respecto a la similitud que existe entre las dos profundidades del Ssp y Spa.

**Cuadro 13. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en un sistema de pastoreo tradicional**

Especie	Familia	0-5 cm
<i>SP-71</i>	Poaceae	175*
<i>Desmodium triflorum</i>	Fabaceae	57
<i>Euphorbia indivisa</i>	Euphorbiaceae	39
<i>Malvastrum coromandelianum</i>	Malvaceae	27
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	26
<i>SP-69</i>	Poaceae	20
		<b>5-10 cm</b>
<i>SP-69</i>	Poaceae	29*
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	22
<i>SP-74</i>	Poaceae	17
<i>Euphorbia Sp.</i>	Euphorbiaceae	14
<i>Cyperus compressus</i>	Cyperaceae	11
<i>Euphorbia indivisa</i>	Euphorbiaceae	11

\* Número de individuos

En el acahual se encontró en ambas profundidades a *O. corniculata* con el valor mas alto de abundancia. De igual forma la presencia de especies de la familia Poaceae no tuvo registro en ninguna de las dos profundidades. El indice de similitud entre profundidades fue de  $0.93 \pm 0.12$ .

**Cuadro 14. Principales especies presentes en el banco de semillas del suelo en un acahual**

Especie	Familia	0-5 cm
<i>Oxalis corniculata</i>	Oxalidaceae	*128
<i>SP-63</i>	N/I	32
<i>Euphorbia imbricata</i>	Acanthaceae	26
<i>Euphorbia sp</i>	Euphorbiaceae	15
<i>SP-64</i>	N/I	13
<i>Spigelia anthelmia</i>	Loganiaceae	10
		<b>&gt; 5-10 cm</b>
<i>Oxalis corniculata</i>	Oxalidaceae	*115
<i>Euphorbia imbricata</i>	Acanthaceae	
<i>SP 28</i>	N/I	20
<i>Euphorbia sp</i>	Euphorbiaceae	17
<i>SP 63</i>	N/I	8
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	7
		5

\* Número de individuos

#### 5.4.5. Similitud del banco de semillas del suelo entre cada uno de los agroecosistemas de pastoreo estudiados

Para todos los escenarios, la mayoría de las especies registradas pertenecían al estrato herbáceo de la vegetación.

Los Cuadros 15, 16 y 17 muestran el índice de similitud de Sorensen basado en la abundancia de especies, calculado para para cada una de las comunidades vegetales identificadas en las muestras del banco de semillas del suelo.

El índice de similitud de Sorensen generó valores que indican una similitud entre sitios superiores al 50 % con excepción del Spt con el Ac, los cuales tuvieron una similitud del 44 %. Es importante señalar que estas similitudes se deben a que los primeros centímetros del suelo son los que tienden a acumular el mayor número de semillas nuevas y presentan una mayor capacidad de germinación.

**Cuadro 15. Similitud del banco de semillas del suelo basado en el Índice de Sorensen para la profundidad 0-5 cm**

Agroecosistema	Ssp	Spa	Spt	Ac
Ssp	0.00	0.52 ± 0.25 (10)	0.58 ± 0.32 (12)	0.74 ± 0.45 (10)
Spa		0.00	0.55 ± 0.39 (15)	0.65 ± 0.29 (14)
Spt			0.00	0.44 ± 0.53 (8)
Ac				0.00

Al comparar la similitud la similitud entre todos los sitios a la profundidad de > 5-10 se encontró que esta es mayor al 50 % para todos. Sin embargo, el valor mas bajo de similitud se obtuvo entre el sistema de Spt y el Ac, como en la profundidad mencionada anteriormente.

**Cuadro 16. Similitud del banco de semillas del suelo basado en el Índice de Sorensen para la profundidad > 5-10 cm**

Agroecosistema	Ssp	Spa	Spt	Ac
Ssp	0.00	0.87 ± 0.24 (12)	0.60 ± 0.29 (16)	0.82 ± 0.23 (12)
Spa		0.00	0.93 ± 0.31 (13)	0.71 ± 0.42 (9)
Spt			0.00	0.61 ± 0.29 (10)
Ac				0.00

Cuando se hace la comparación de la similitud entre los sitios considerando una profundidad de 0-10 cm, los valores son superiores al 50 % entre todos los sitios, mientras que el valor mínimo de similitud se presentó entre el sistema de Spt y el Ac, con una similitud del 51 %.

**Cuadro 17. Similitud del banco de semillas del suelo basado en el Índice de Sorensen para la profundidad de 0-10 cm**

Agroecosistema	Ssp	Spa	Spt	Ac
Ssp	0.00	0.75 ± 0.22 (15)	0.65 ± 0.25 (19)	0.81 ± 0.27 (16)
Spa		0.00	0.84 ± 0.26 (21)	0.66 ± 0.24 (16)
Spt			0.00	0.51 ± 0.26 (15)
Ac				0.00

En el Ssp, las especies con un mayor número de individuos pertenecieron al estrato herbáceo y contrario a lo pudiera esperarse, estas correspondieron a familias botánicas diferentes a las de los pastos. La similitud entre la diversidad de especies a las diferentes profundidades y entre los sitios no presentó diferencias significativas cuando se establecen los intervalos de confianza del 95 % a partir de los datos generados por el programa EstimateS.

En conjunto, el índice de similitud entre los sitios, para la profundidad de 0 a 5 cm fue de 0.44 (± 0.53) a 0.74 (± 0.45), sin que existieran diferencias significativas. Para la profundidad de > 5 a 10 cm el índice fue de 0.61± (0.29) a 0.93± (0.31) entre cada uno de los sitios. Cabe señalar que, aunque no se presentaron diferencias significativas entre las dos profundidades en cada uno de los sitios, ni entre los sitios cuando se considera la misma profundidad entre cada uno, si se observó que la similitud fue mayor en los últimos cinco centímetros del suelo (> 5-10).

#### 5.4.6 Formas de vida

La composición botánica del banco de semillas estuvo caracterizada por incluir en su mayoría a especies pertenecientes al estrato herbáceo.

En el Ssp se registraron principalmente especies del estrato herbáceo para las dos profundidades. En este sitio, aunque podría esperarse encontrar un abundante número de plantulas pertenecientes a los pastos, los morfotipos de la familia Poaceae registrados solo tuvieron registros para uno o dos individuos, al igual que las especies de otras familias.

El pastizal con árboles presentó también especies del estrato herbáceo, siendo las especies de la familia Poaceae las que germinaron en los primeros cinco centímetros del suelo. En la segunda profundidad, las semillas de los pastos se presentaron en menor cantidad, algunos morfotipos solo con dos individuos. En Spa se tuvo la presencia de arbustos, un individuo de *R. comunis* y un morfotipo no identificado y solamente un individuo de *G. sepium* para el estrato arbóreo en la profundidad de 0 a 5 cm. En la profundidad de > 5 a 10 cm solo se presentó un ejemplar de *R. comunis*.

En el sistema de Spt, al inicio del registro de las especies presentes en el banco de semillas, se colectaron individuos de la familia Poaceae que ya estaban previamente establecidos en los primeros centímetros del suelo, posteriormente, aunque germinaron individuos de la misma familia, también se presentó la germinación de semillas de especies diferentes a los pastos, todas del estrato herbáceo.

En el Ac, se registraron especies cuyas plántulas ya estaban presentes al momento de realizar la colecta de los primeros cinco centímetros del suelo. Todas las especies germinadas pertenecieron al estrato herbáceo para ambas profundidades. Solo se registró una morfoespecie del estrato arbustivo a la profundidad de 0 a 5 cm. Se observó que las muestras de suelo del Ac fueron las que tardaron más tiempo en germinar respecto a las muestras de los otros agroecosistemas.

#### **5.4.7. Abundancia relativa de las principales especies presentes en el banco de semillas**

La abundancia relativa de las especies presentadas anteriormente sugiere que para el Ssp un porcentaje mayor no recae sobre ninguna de las principales especies encontradas, a diferencia de los agroecosistemas restantes, en donde la abundancia relativa de una de las especies principales en cada escenario representará cerca de un 50 % con una sola especie de la familia Poaceae y *O. Corniculata* para el Spt y el Ac respectivamente, siendo la excepción *O. corniculata* en el pastizal con árboles donde alcanzó una abundancia relativa cercana al 20 % del total de especies registradas.

La Figura 9 muestra las abundancias relativas de las principales especies encontradas en el banco de semillas del suelo de semillas del suelo. Las figuras corresponden a la profundidad de cero a cinco centímetros.

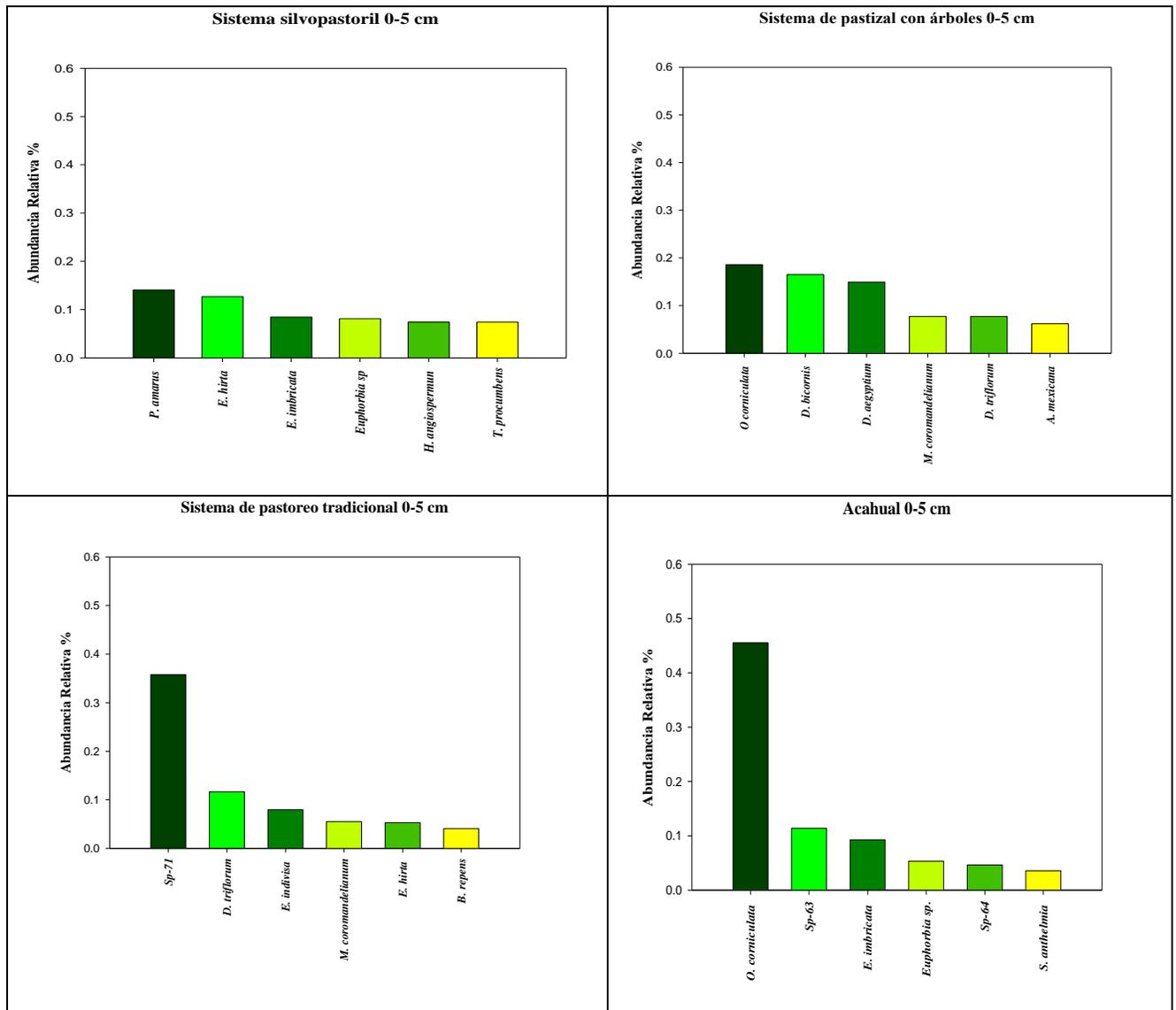
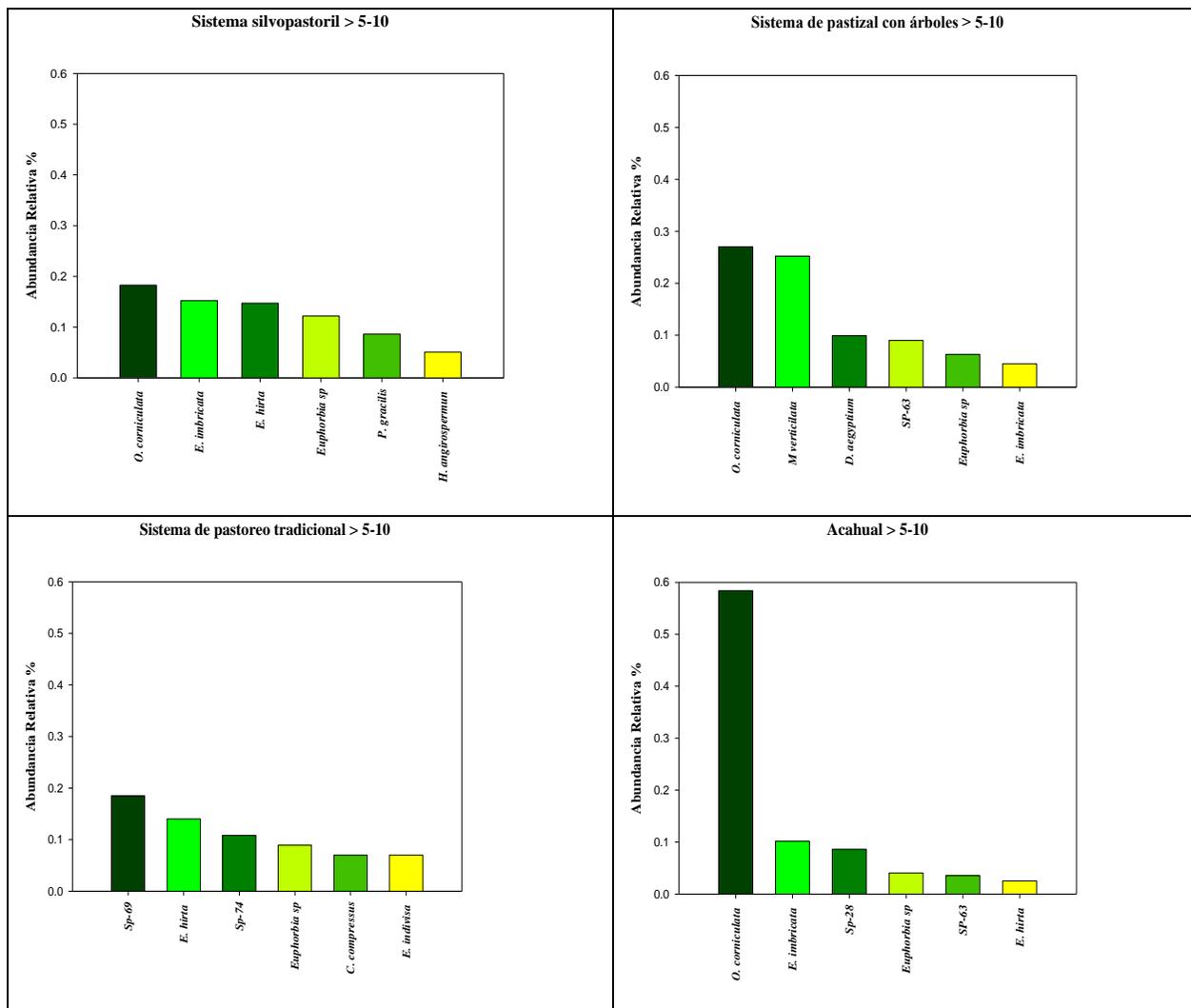


Figura 9. Principales especies encontradas en el banco de semillas del suelo a la profundidad de 0-5 cm.

La Figura 10 corresponde a la abundancia relativa de las especies encontradas a la profundidad de cinco a diez centímetros.



**Figura 10. . Principales especies encontradas en el banco de semillas del suelo a la profundidad de >5-10 cm.**

En el caso de la profundidad > 5-10 el sistema Ssp, Spa y el Spt presentaron abundancias relativas similares con sus principales especies, en cuanto a las especies del acahual cerca del 50 % de la abundancia relativa estuvo representada por *O. corniculata*, la cual fue también la especie con mayor abundancia relativa en el sistema silvopastoril y el pastizal con árboles.

#### 5.4.8. Densidad de semillas germinadas en los cuatro diferentes agroecosistemas

Se estimó la densidad total de semillas germinadas por metro cuadrado en las muestras de banco de semillas del suelo (Cuadro 18). La mayor frecuencia de semillas perteneció a especies que forman parte del estrato herbáceo, siendo en la de profundidad de 0-5 cm en donde se encontró la mayor densidad de semillas en todos los agroecosistemas. Dentro de los agroecosistemas en estudio destacó el sistema de Spt con la mayor densidad de semillas germinadas por m<sup>2</sup>, seguido del sistema silvopastoril, el acahual y el pastizal con árboles.

Para la profundidad de 0 a 5 cm la prueba de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95 % sugiere que no existen diferencias estadísticamente significativas (P=0.07) entre la densidad de semillas para cada uno de los sitios, al igual que para la profundidad de 5 a 10 cm (P= 0.39). Las diferencias significativas solo se observan cuando se comparan todos los sitios a las diferentes profundidades. En este caso, P= 0.0004 se obtuvo para el sistema de pastoreo tradicional de 0 a 5 y el pastizal con árboles de > 5 a 10. Esto puede deberse a que el sistema de pastoreo tradicional está sujeto a un intercambio constante de semillas por parte del ganado, además de que los primeros centímetros del suelo son los que generalmente poseen el mayor número de semillas en el suelo. A diferencia del sistema de pastizal con árboles, cuya recepción de semillas es menor, lo que, junto a una mayor profundidad, reducen el número de semillas capaces de germinar.

**Cuadro 18. Valor promedio de la densidad de semillas germinadas /m<sup>2</sup> a dos profundidades del suelo de cuatro diferentes agroecosistemas**

	Agroecosistemas							
	Ssp		Spa		Spt		Ac	
	0-5	> 5-10	0-5	> 5-10	0-5	> 5-10	0-5	> 5-10
<b>Herbáceas</b>	189* <sup>ab</sup>	134 <sup>ab</sup>	129 <sup>ab</sup>	74 <sup>a</sup>	326 <sup>b</sup>	104 <sup>ab</sup>	187 <sup>ab</sup>	131 <sup>ab</sup>
<b>Arbustos</b>	-	-	2	1	-	-	1	-

\*Medias con literales diferentes difieren significativamente aplicando la prueba de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

### 5.4.9. Indicadores de diversidad vegetal en cuatro agroecosistemas de pastoreo

Se calcularon los indicadores de diversidad para la información obtenida de la germinación de especies vegetales del banco de semillas, de diferentes agroecosistemas de pastoreo a las diferentes profundidades de muestreo. Los índices de diversidad estimados fueron la riqueza específica, el índice de diversidad de Shannon-Wiener, H' Max, equidad y dominancia (Cuadro 19).

Para el caso de la riqueza específica, se observó que en cada una de las profundidades no existió una diferencia sustancial en cuanto al total de especies por sitio. Sin embargo, si se observó una tendencia a que en el Spt hubo un mayor número de especies. Los mayores y menores índices de diversidad de Shannon-Wiener se presentaron en el Ssp y en el Ac, existiendo diferencias estadísticas significativas para estos sitios en las tres profundidades del suelo.

Los valores de H' Max calculados a partir del número de especies en cada sitio generaron valores superiores de diversidad esperada, con valores que van desde 4.25 hasta 5.50.

**Cuadro 19. Indicadores de biodiversidad para el banco de semillas del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo**

Indicador	Agroecosistema	Profundidad		
		0-5	>5-10	0-10
Riqueza	Ssp	28	25	33
	Spa	29	19	32
	Spt	34	29	45
	Ac	30	19	33
H'	Ssp	<b>2.13<sup>a*</sup></b>	<b>1.86<sup>a*</sup></b>	<b>2.36<sup>a*</sup></b>
	Spa	1.74 <sup>ab</sup>	<b>1.23<sup>b</sup></b>	1.85 <sup>ab</sup>
	Spt	1.79 <sup>ab</sup>	1.70 <sup>ab</sup>	2.10 <sup>ab</sup>
	Ac	<b>1.46<sup>b*</sup></b>	<b>1.27<sup>b*</sup></b>	<b>1.59<sup>b*</sup></b>
H' Max	Ssp	4.81	4.64	5.04
	Spa	4.86	4.25	5.0
	Spt	5.09	4.86	5.49
	Ac	4.91	4.25	5.04
Equidad	Ssp	<b>0.86<sup>a*</sup></b>	0.85 <sup>a</sup>	<b>0.87<sup>a*</sup></b>
	Spa	0.80 <sup>ab</sup>	0.74 <sup>a</sup>	0.77 <sup>ab</sup>
	Spt	0.73 <sup>b</sup>	0.85 <sup>a</sup>	0.77 <sup>ab</sup>
	Ac	<b>0.64<sup>b*</sup></b>	0.73 <sup>a</sup>	<b>0.63<sup>b*</sup></b>
Dominancia	Ssp	<b>0.27<sup>a*</sup></b>	<b>0.29<sup>a*</sup></b>	<b>0.20<sup>a*</sup></b>
	Spa	<b>0.36<sup>a*</sup></b>	<b>0.57<sup>b*</sup></b>	<b>0.39<sup>b*</sup></b>
	Spt	0.42 <sup>ab</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.33 <sup>ab</sup>
	Ac	<b>0.58<sup>b*</sup></b>	<b>0.57<sup>b*</sup></b>	<b>0.55<sup>b*</sup></b>

\*Medias en negritas son estadísticamente diferentes con un valor de  $\alpha=0.05$  de acuerdo a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

El mayor valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener se registro para el sistema silvopastoril en las dos diferentes profundidades y cuando se considera una sola profundidad (0 a 10 cm).

Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ( $P=0.018$ ) entre Ssp y el Ac para la profundidad de 0 a 5 cm; el Spa y el Spt, aunque no presentó diferencias con el Ssp registraron un valor del índice de Shannon-Wiener inferior y superior al del Ac

Los valores del índice de Shannon-Wiener en la profundidad de > 5-10 cm fueron inferiores respecto a la profundidad de 0 a 5 para todos los agroecosistemas. En esta profundidad, se observaron diferencias significativas entre el Ssp con el Ac ( $P= 0.016$ ) y el Spa ( $P= 0.010$ ). Un análisis que considera la profundidad de 0-10 cm muestra un índice de Shannon-Wiener mayor para el sistema silvopastoril respecto al acahual, que difiere significativamente ( $P= 0.002$ ).

Los valores de equidad fueron mayores y menores en el sistema silvopastoril y el acahual respectivamente para la profundidad de 0-5 y 0-10, con diferencias estadísticamente significativas. La equidad fue similar en la profundidad > 5-10 para todos los sitios.

En lo que respecta a la dominancia, los mayores y menores valores fueron para el acahual y el sistema silvopastoril en las tres profundidades presentándose diferencias estadísticamente significativas, al igual que en el Ssp y el Spa en la profundidad de > 5-10 y 0-10.

Se encontró correlación entre las variables riqueza de especies, densidad de semillas y el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Spearman 0.05 %) mostraron asociaciones fuertes y estadísticamente significativas ( $P< 0.05$ ) en primer lugar para la profundidad de 0 a 5 cm. En esta profundidad, los sitios que destacaron fueron Spt y el Ssp (Cuadro 20), en el primero, cuando la riqueza de especies se asocia con la densidad de semillas y el índice de diversidad de Shannon, muestran un coeficiente de correlación de 0.92 y 0.89 respectivamente. El Ssp por su parte, mostró un coeficiente de correlación de 0.88 con la densidad de semillas y de 0.52 con el índice de Shannon, este último coeficiente de correlación, aunque no es señalado por la prueba como una asociación significativa entre las variables, se puede considerar como una asociación media, lo que para fines prácticos es viable, si se toma en cuenta que la riqueza de especies puede influir en los valores que adquiere el índice de Shannon. En el Spa (Cuadro 25) la asociación entre la riqueza de especies y la densidad de semillas fue de 0.63, asociación no significativa de acuerdo a la prueba de correlación, pero al igual que en el Ssp, este valor sugiere una asociación media entre las variables. El índice de Shannon por su parte presentó un coeficiente de correlación de 0.88, el cual fue significativo cuando se asocia a la riqueza de especies. La información de las variables para el Ac solo mostró una asociación mediana

no significativa entre la riqueza y el índice de Shannon de 0.63, la cual puede considerarse como media.

Para la profundidad de 5 a 10 cm, el grado de asociación entre la riqueza, la densidad de semillas y el índice de Shannon fue mayor para el Spa y el Ssp, con 0.83 y 0.51 en donde solo el primer valor presentó una correlación significativa. El Ssp, con 0.75 y 0.69, aunque pueden considerarse valores medios de asociación, de acuerdo a la prueba, no fue una relación significativa. El Spt y el Ac (Cuadro 20), presentaron los valores más bajos de asociación entre la riqueza de especies y la densidad de semillas, con coeficientes de 0.20 y -0.37, respectivamente. Sin embargo, cuando se considera la riqueza asociada con el índice de Shannon, el coeficiente de 0.92 para ambos sitios, las correlaciones son significativas.

Al igual que con los resultados obtenidos para la primera profundidad, si bien en algunos casos las correlaciones no se indican como significativas de acuerdo a la prueba, es importante señalar que los valores medios de asociación pueden implicar que la riqueza de especies puede estar influyendo sobre la densidad de semillas y al índice de Shannon cuando se toma en cuenta que la información proviene de comunidades vegetales.

**Cuadro 20. Coeficiente de correlación para riqueza, densidad y diversidad de especies vegetales germinadas**

Agroecosistemas	Profundidad	Riqueza	
		Densidad	Diversidad (H')
Sistema silvopastoril	0-5	<b>0.88*</b>	0.52
	>5-10	0.75	0.69
Sistema de pastizal con árboles	0-5	0.63	<b>0.88</b>
	>5-10	<b>0.83</b>	0.51
Sistema de pastoreo tradicional	0-5	<b>0.92</b>	<b>0.89</b>
	>5-10	0.20	<b>0.92</b>
Acahual	0-5	0	0.63
	>5-10	-0.37	<b>0.92</b>

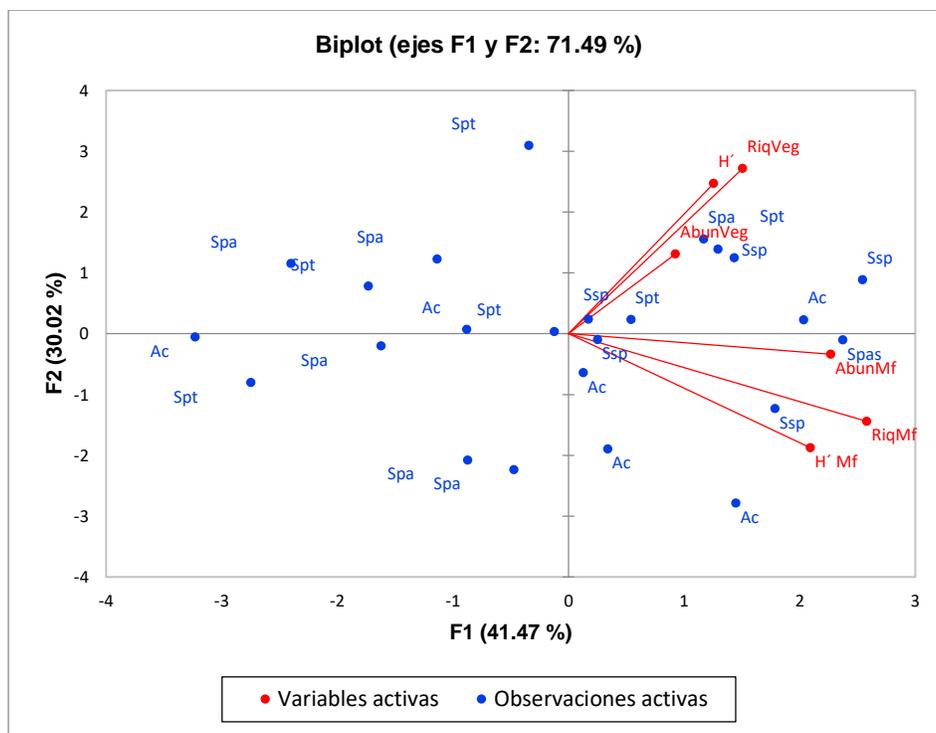
\*Los valores en negrita son diferentes de 0 y significativos. Spearman (0.05)

De esta forma, los resultados obtenidos, particularmente para los primeros cinco centímetros del suelo en los diferentes agroecosistemas estudiados, sugieren que es más viable el establecimiento de especies vegetales a partir del banco de semillas del suelo en el Spt y en el Ssp, pues la densidad de semillas si depende de la riqueza de especies del sitio lo que para fines prácticos generaría una mayor cobertura vegetal al darse la condiciones adecuadas para su establecimiento, a diferencia

del Spa y el Ac, en donde la asociación entre riqueza de especies y densidad de semillas fue menor y no significativa.

**5.4.10. Análisis de componentes principales basado en los indicadores de diversidad del banco de semillas del suelo para cada uno de los cuatro ecosistemas de pastoreo. Profundidad 0-5 cm.**

La Figura 11 representa la variabilidad de los datos con un 71.49 % considerando ambos ejes, siendo el eje F1 el que corresponde a las variables relacionados con la macrofauna del suelo, riqueza de macrofauna (Riq Mf), abundancia de macrofauna (AbunMf), diversidad de macrofauna (H' Mf) con un 41.47 %. El eje F2 incluye los valores de la diversidad vegetal, riqueza de vegetación (RiqVeg), abundancia de vegetación (AbunVeg) y diversidad de vegetación (H'). En ambos ejes se aprecian los AES mejor representados. La variabilidad explicada por el análisis de componentes principales en los ejes F1 y F2 se considera adecuada.



**Figura 11. Agroecosistemas de pastoreo diferenciados a través de los índices de diversidad de especies vegetales y macrofauna edáfica. Profundidad 0>5.**

La figura 11 sugiere que las variables relacionadas con la macrofauna edáfica están, en primer lugar, correlacionadas entre sí, ubicándose en el eje F1, los sitios que se ubican en este eje son el Ssp y el Ac principalmente. El eje F2 muestra las variables relacionadas con la diversidad vegetal

y señalan una fuerte asociación dada la cercanía que hay entre los vectores. Los sitios que están representados en este eje son el Spa, Spt y el Ac.

Los valores de los cosenos cuadrados de las variables (Cuadro 21) señalan una correcta vinculación de las variables con el eje correspondiente.

**Cuadro 21. Cosenos cuadrados de las variables para cada uno de los ejes que explican la variabilidad de los datos correspondientes a la profundidad de 0-5cm**

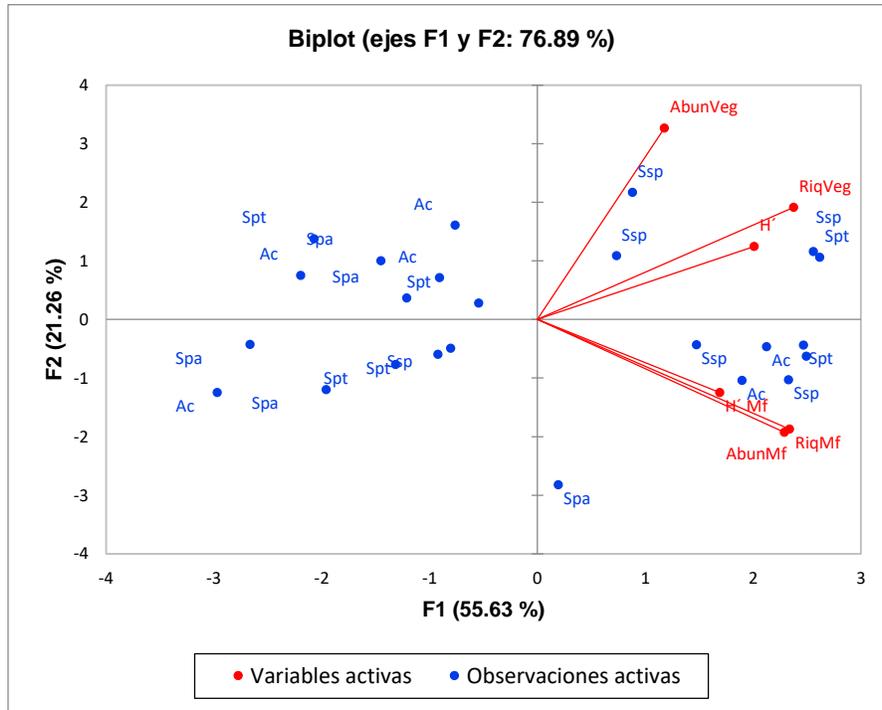
<b>Variables</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>Riqueza Vegetal</b>	0.271	<b>0.635</b>
<b>Abundancia Vegetal</b>	0.102	0.148
<b>H´</b>	0.188	<b>0.526</b>
<b>Riqueza Macrofauna</b>	<b>0.794</b>	0.179
<b>Abundancia Macrofauna</b>	<b>0.613</b>	0.010
<b>H´ Macrofauna</b>	<b>0.522</b>	0.303

\* Los valores en negrita corresponden para cada variable el factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor

Cabe señalar que el valor del coseno cuadrado para la abundancia de especies vegetales no se muestra pues este se traslapo al eje F3, el cual no se muestra ya que de hacerlo el porcentaje de variabilidad representado se reduce. Sin embargo, este tuvo un valor de 0.66 con las mayores contribuciones de las observaciones por parte del Ssp, Spt y Ac con valores de 0.95, 0.85 y 0.70 respectivamente.

### 5.4.11. Análisis de componentes principales basado en los indicadores de diversidad del banco de semillas del suelo para cada uno de los cuatro ecosistemas de pastoreo. Profundidad >5-10 cm.

En la Figura 12 se muestra la variabilidad de los datos hasta en un 76.89 % considerando los dos ejes. Al igual que en el anterior, el eje F1 incluye las variables de macrofauna del suelo con un 55.63 %, en el eje F2 se ubican las variables de diversidad de vegetación con un 21.26 % de variabilidad.



**Figura 12. Agroecosistemas de pastoreo diferenciados a través de los índices de diversidad de especies vegetales y macrofauna edáfica. Profundidad 5>10.**

El eje F1 incluyó a todas las variables (vectores) que se consideraron, con excepción de la variable abundancia de vegetación, que se ubicó en el eje F2 de acuerdo al valor de los cosenos cuadrados de cada uno (Cuadro 22). Se observó una asociación fuerte entre la riqueza y diversidad de especies vegetales, más no con la abundancia. Las variables relacionadas a la macrofauna también presentaron una asociación fuerte.

En este caso, destaca el sistema silvopastoril como el AES en el que las observaciones presentaron una mayor contribución con relación a las variables de diversidad vegetal seguido de sistema de pastoreo tradicional, sin considerar la abundancia.

La abundancia de especies vegetales en el F2 incluyó contribuciones del sistema de pastizal con árboles y al sistema silvopastoril con valores de 0.81 y 0.77 respectivamente. Para el caso de las variables de diversidad de macrofauna del suelo las contribuciones más altas fueron por parte del acahual y del sistema silvopastoril.

**Cuadro 22. Cosenos cuadrados de las variables para cada uno de los ejes que explican la variabilidad de los datos correspondientes a la profundidad de 5>10**

<b>Variables</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
Riqueza Vegetal	<b>0.764</b>	0.190
Abundancia Vegetal	0.188	<b>0.552</b>
Diversidad H'	<b>0.548*</b>	0.080
Riqueza Macrofauna	<b>0.741</b>	0.181
Abundancia Macrofauna	<b>0.710</b>	0.192
Diversidad H' Macrofauna	<b>0.387</b>	0.080

**\*Los valores en negrita corresponden para cada variable el factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor**



**Cuadro 23. Cosenos cuadrados de las variables para cada uno de los ejes que explican la variabilidad de los datos correspondientes a la profundidad de 0>10**

<b>Variab</b> les	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<b>Riqueza Vegetación</b>	<b>0.430</b>	0.416	0.025
<b>Abundancia Vegetación</b>	0.116	<b>0.439</b>	0.379
<b>Diversidad H'</b>	0.198	0.263	<b>0.422</b>
<b>Riqueza Macrofauna</b>	<b>0.738</b>	0.230	0.001
<b>Abundancia Macrofauna</b>	<b>0.673</b>	0.009	0.054
<b>Diversidad H' Macrofauna</b>	0.302	<b>0.499</b>	0.070

\* Los valores en negrita corresponden para cada variable el factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor

#### **5.4.13. Correlación entre la diversidad de la vegetación del banco de semillas y las características biológicas del suelo y los diferentes agroecosistemas de pastoreo.**

Las relaciones entre las variables referentes a la diversidad de especies del banco de semillas con la macrofauna del suelo se muestran en el cuadro 24. También se consideran las dos profundidades de muestreo.

La diversidad vegetal del banco de semillas presentó una correlación negativa significativa ( $P < 0.05$ ) cuando se asocia con la profundidad del suelo, lo cual se explica debido a que conforme se incrementa la profundidad, la presencia de semillas, así como la viabilidad de las que se establecen se reduce, esto se registró en todos los sitios.

Cuando se asocia la riqueza de vegetación con la riqueza de ordenes y abundancia de macrofauna se observan asociaciones significativas entre estas variables en el sistema silvopastoril y el acahual. En el sistema de pastoreo tradicional solo se observó una correlación significativa entre la riqueza de especies y la abundancia de macrofauna. El pastizal con árboles presentó asociaciones bajas y no significativas entre las mismas variables (Cuadro 24).

La abundancia de vegetación presentó una correlación negativa significativa con la profundidad solo para el Spt y el Spa.

**Cuadro 24. Valores del coeficiente de correlación para las variables relacionadas a la diversidad de especies vegetales y la macrofauna del suelo en los diferentes agroecosistemas de estudio. Profundidad de 0-5 y > 5-10 cm**

Variables	Profundidad				Riqueza de macrofauna				Abundancia de macrofauna			
	Ssp	Spa	Spt	Ac	Ssp	Spa	Spt	Ac	Ssp	Spa	Spt	Ac
<b>Riqueza vegetación</b>	<b>-0.58*</b>	<b>-0.61*</b>	-0.55	<b>-0.61*</b>	<b>0.61</b>	0.26	0.50	<b>0.68</b>	<b>0.64</b>	0.44	<b>0.70</b>	<b>0.71</b>
<b>Abundancia vegetación</b>	-0.21	<b>-0.63</b>	<b>-0.72*</b>	-0.48	0.31	0.47	0.29	0.41	0.31	<b>0.69</b>	0.51	0.50
<b>H' Vegetación</b>	<b>-0.62</b>	-0.53	-0.04	-0.28	<b>0.61</b>	0.15	0.43	0.39	<b>0.70</b>	0.22	0.57	0.42

\*Valores negrita son estadísticamente significativos (Spearman 0.05)

#### 5.4.14. Riqueza y diversidad del banco de semillas del suelo de cuatro agroecosistemas.

El desarrollo de un análisis de correspondencias canónicas permitió relacionar la información de las especies vegetales presentes en el banco de semillas del suelo de cada uno de los agroecosistemas en estudio, con las variables riqueza, abundancia, diversidad de especies vegetales y de macrofauna, así como el porcentaje de materia orgánica y nivel de manejo representadas por los vectores (Figura 14). El gráfico explica una variabilidad del 47.67 %, con valores propios de 0.52 y 0.46 para el F1 y el F2, así como un porcentaje de variabilidad explicada del 25.38 y 22.29 % respectivamente.



## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Características físicas y químicas del suelo en los agroecosistemas en estudio

Los resultados del análisis de suelo no mostraron diferencias entre alguna de las variables que se consideraron. Por ejemplo, los resultados de textura del suelo sugieren que los cuatro agroecosistemas tuvieron una textura de tipo franco arenosa con un pH ligeramente alcalino de entre 7.3 y 7.7, con efectos despreciables de salinidad de entre 0.3 y 0.6 dS/m y con tendencia a presentar una mayor cantidad de materia orgánica en la capa de 0-5 cm respecto a > 5-10cm. El sitio con menor perturbación fue el acahual donde el contenido de materia orgánica fue de 3.1, y menor en el pastizal con árboles (2.4). En general se considera a todos los sitios como de clase media pues para suelos no volcánicos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 el rango es de entre 1.6 y 3.5. Se ha encontrado que factores ambientales como el pH del suelo (Henig *et al.*, 1996), la exposición al sol del suelo por falta de cobertura (Snyman, 2005) y la cantidad de luz solar que incide al suelo (Trabaud y Renard, 1999) son factores que influyen en la germinación del banco de semillas.

Los valores de referencia para el contenido de nutrimentos en cada uno de los sitios, nitritos, fósforo y potasio, fueron mayores en el Ssp y en el Spt para el caso de potasio y nitrito, con valores de 200 y 40 mg L<sup>-1</sup>. Estos valores más altos respecto al resto de los sitios pueden deberse, para el caso del sistema silvopastoril Ssp, a la aplicación de fertilizantes ricos en potasio, lo cual, de acuerdo al manejo del sitio, se ha realizado ocasionalmente. En el caso de la mayor cantidad de nitritos presentes en el Spt con cerca de 40 mg/L<sup>-1</sup>. Es posible inferir que este valor es alto, cuando se compara con los otros agroecosistemas, y se debe al aporte continuo de las excretas del ganado (estiércol y orina), ya que además del pastoreo de bovinos adultos también se emplea para el resguardo de los becerros. Whitmore (2000) señala que los desechos provenientes del ganado bovino generan nitratos y durante el proceso multi etapa de la nitrificación, la eficiencia de la transformación de nitratos a nitritos se ve reducida cuando en el sitio se presentan altos niveles de materia orgánica, como fue en el caso de este sitio, donde se tuvo un 2.6 % de materia orgánica (Cuadro 3), por lo que esto puede estar generando que en el sistema de Spt existan en el suelo remanentes de N en forma de nitrito.

Sanderson *et al.*, (2010) coinciden en que sitios dedicados al confinamiento de bovinos en altas densidades, junto a la deposición de excrementos y orina conducen a una mayor e irregular distribución de los nutrientes en el suelo, principalmente de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y son estos sitios los que tienen una tendencia mayor hacia la acumulación de nutrientes, en comparación con las zonas menos perturbadas de los pastizales.

Es importante señalar que se esperaba encontrar valores inferiores de nutrientes en el sistema de pastoreo tradicional, pues a simple vista se observaba un suelo empobrecido por el sobrepastoreo, compactado y con escasa vegetación. Huang *et al.*, (2007) mencionan que procesos de sobrepastoreo pueden acarrear problemas de desertificación, en donde la materia orgánica y el nitrógeno son los principales componentes que se ven afectados y se relacionan con la pérdida de las partículas de limo en el suelo. En este caso, el sistema de pastoreo tradicional, a pesar de que pudiera parecer uno de los más afectados por las actividades ganaderas tuvo un contenido de limo del 14.18 %, que colocaron a este sitio dentro de la misma clasificación textural que los otros agroecosistemas, y los análisis fisicoquímicos evidencian que no parece verse afectado, si no al contrario, pues además de los porcentajes de partículas de las que está compuesto el suelo, el aporte de materia orgánica que recibe constantemente por parte del ganado bovino, mantiene una cantidad considerable de nutrientes en el suelo.

## **6.2. Indicadores de biodiversidad para la macrofauna edáfica en cuatro diferentes agroecosistemas de pastoreo**

El elemento biológico del suelo que se consideró en el presente estudio fue la macrofauna edáfica colectada a diferentes profundidades. Se estimaron los valores de riqueza específica, índice de Shannon-Wiener, los valores de  $H'_{Max}$ , equidad y dominancia.

Se calcularon intervalos de confianza del 95 % para determinar si existían diferencias significativas para cada variable entre cada uno de los agroecosistemas estudiados.

Dada la complejidad que resulta la clasificación a nivel género y especie, los organismos colectados se agruparon solo por orden taxonómico.

La riqueza de órdenes taxonómicos mostró diferencias significativas entre el Spa, con el resto de los sitios. La riqueza de órdenes fue igual entre el Ssp y el Ac, con 12 órdenes cada uno, lo anterior en una profundidad de 0 a 10 cm.

El cálculo del índice de Shannon, aunque no mostro diferencias significatvas entre los sitios, fue mayor en el Ac, con un valor de 1.23, seguido del Ssp, el Spt y el Spa, con 1.10, 0.88 y 0.63, respectivamente esto en los primeros diez centímetros del suelo. Mientras que la abundancia total de organismos fue mayor en el Ssp con 332 organismos a la misma profundidad. Cuando se consideró una sola profundidad por cada sitio, de 0 a 20 cm, los valores del índice de Shannon tuvieron la misma tendencia que en la primera profundidad.

Los invertebrados del suelo (fauna edáfica) se han considerado como pieza clave dentro de los diversos procesos que integran la dinámica del suelo, y han sido nombrados en los últimos años como ingenieros del ecosistema, en donde se ubica a diferentes organismos tales como lombrices, hormigas, termitas, nematodos, así como a las raíces de las plantas (Lavelle *et al.*, 2006; Briones, 2014; Lavelle *et al.*, 2016).

Los resultados obtenidos indicaron para el Ssp un valor del índice Shannon similar al del Ac, siendo mayor la abundancia en el primero. Los ordenes mas representativos en este sitio fueron Isoptera (termitas), Haplotaxida (lombrices) e Hymenoptera (hormigas), con 108, 103 y 71 individuos para cada grupo. Lo anterior coincide con los grupos mas representativos de América reportados por Fragoso *et al.*, (1999).

Sin embargo, ellos consideran más importantes a las hormigas que a las termitas pues estas últimas son parte mas representativa de suelos africanos. Los organismos encontrados se incluyen dentro de los mencionados por Bardgett y Cook (1998), como de los mas abundantes, no solo en número, sino también en biomasa, aunque difiere en cuanto a la proporción de biomasa cuando se considera el ambiente del que provienen, pues en zonas templadas las lombrices pueden alcanzar hasta un 80 % del total, mientras que en el sistema silvopastoril, alcanzaron un 32 % del total de individuos. Es importante destacar la presencia de las lombrices y hormigas en el Ssp pues pertenecen a un grupo funcional importante del suelo los cuales también representan una gran parte de la biomasa animal (Cole *et al.*, 2006). Para el caso particular de las lombrices, donde se tuvo una evidente reducción de su abundancia en el Ac, respecto al Ssp, Dëcaens *et al.*, (2004) encontraron algo similar y concluyeron que las comunidades forestales son diversas, pero escasas de lombrices, mientras que los pastizales presentan diversidades inferiores pero una riqueza de lombrices mas alta que las zonar arboladas. Los resultados para la diversidad entre el Ssp y el Ac apoyan este planteamiento pues los valores fueron de 1.10 y 1.23 para cada uno.

Estudios de macrofauna realizados por Lang *et al.*, (2011) encontraron dentro del agroecosistema mango la mayor cantidad de invertebrados, respecto al de caña de azúcar, siendo las hormigas, lombrices y termitas los mas abundantes, con 48, 18.2 y 10.9 % para cada uno. Aunque en el presente estudio se encontraron los mismos organismos que en el agroecosistema mango, las proporciones fueron diferentes, las termitas y lombrices mostraron una proporción del 32 y 31 %, mientras que para las hormigas fue del 21 %. El resto de los organismos pertenecieron a otros ordenes con abundancias menores, Coleoptora (2.6 %), Isopoda (3%), Geophilomorpha (2.71 %). Otros organismos de los ordenes Lepidóptera, en su forma larvaria, Prostigamata, Dermáptera y Díptera, se registraron con solo un individuo.

El valor superior del índice de Shannon reportado por Lang *et al.*, (2011) fue de 1.74 para el agroecosistema con un menor grado de perturbación, condición similar a la presentada en el Ssp, el cual, si bien no presento diferencia significativa con el resto de los sitios, si fue el que obtuvo los valores mas altos del índice de Shannon junto al acahual.

La abundancia total de organismos en cada sitio dentro de los primeros diez centímetros del suelo, después del Ssp, se va reduciendo, presentando un total de 94 y 47 individuos para el Spa y el Spt.

A pesar de que el Ac presento el valor mas alto del índice de Shannon, parece ser que un largo periodo sin perturbación, aunque favorece una diversidad similar al Ssp, no brinda las condiciones para que se incremente la abundancia, especialmente de organismos pertenecientes a grupos funcionales, como las lombrices, Huerta y Van del Wal., (2012) señalan que la abundancia puede disminuir debido a las condiciones de humedad constante que se tienen bajo el dosel, a la falta de circulación de aire y a la reducción de la incidencia de luz. Condiciones que son características también del Ac. Fragoso *et al.* (1999) señalan que en general, las comunidades de lombrices de ecosistemas naturales presentan una abundancia y biomasa menor a la de sitios perturbados.

En el Ssp se encontró la mayor abundancia de macrofauna, particularmente de lombrices, hormigas y termitas. Los dos primeros considerados como los mas importantes ingenieros del ecosistema para ambientes de América (Fragoso *et al.*, 1999). En el caso de las hormigas Levey y Byrne (1993) mencionan que estas pueden tener funciones antagonistas y mutualistas a la vez, pues algunas semillas pueden ser consumidas y otras depositadas en el suelo, y muestran la relación benéfica y la importancia que las hormigas pueden tener sobre el banco de semillas.

Blaney y Kotanen (2002) señalan que las semillas del suelo son de los primeros estadios en el desarrollo de la planta en donde pueden ser vulnerables al ataque y la depredación por parte de patógenos fúngicos e invertebrados. Sin embargo, los autores encontraron que los hongos tuvieron un impacto significativo, mayor al de los invertebrados del suelo. Otros autores como Heisenhauer *et al.* (2009), señalan que la presencia de lombrices exóticas, por ejemplo *O. tyrtaeum*, fomenta la germinación de pastos y hierbas.

Mitschunas *et al.*, 2006 sugieren que factores como los hongos y la macrofauna del suelo pueden afectar en distinto grado el banco de semillas del suelo. Sin embargo, encontraron que el ataque de hongos hacia las semillas del suelo se puede reducir cuando se tiene la presencia de fauna del suelo, especialmente del orden collembola, que son fungívoros. A pesar de lo anterior, señalan que la evidencia del beneficio que tiene el banco de semillas a través de la presencia de ese tipo de organismos se obtuvo en condiciones experimentales controladas, por lo que aún no es posible hacer una generalización sobre la respuesta de las semillas a la fauna del suelo, y recomiendan el desarrollo de experimentos en condiciones de campo para determinar la respuesta ante una fauna del suelo más diversa.

En el presente estudio se observó una asociación entre la riqueza y diversidad de la vegetación con la riqueza y abundancia de macrofauna. Es probable que la presencia de fauna edáfica, particularmente de lombrices y hormigas, pueda tener algún efecto benéfico sobre las semillas del suelo. Este puede ser directo a través de la incorporación de las semillas al suelo, así como por las condiciones microambientales que genera la presencia de este tipo de organismos. Por ejemplo, las lombrices contribuyen a la incorporación de materia orgánica al suelo al mismo tiempo que fomentan su aireación. Las hormigas por su parte, funcionan como dispersores y ayudan también al mejoramiento de la estructura del suelo.

La estabilidad de un sitio en cuanto a la edad, así como características del suelo tales como la textura y materia orgánica son determinantes para el desarrollo de la macrofauna (Děcaens *et al.*, 2004). En este sentido, Loranger *et al.* (2007) encontraron que la abundancia de macrofauna en una plantación forestal continuamente aprovechada fue mayor que en un bosque natural, reportando ordenes taxonómicos similares a las del presente trabajo. Los resultados que se tuvieron para el caso de materia orgánica del Ssp y el Ac presentan una tendencia similar a la señalada por los autores, pues la reducción de la abundancia de la macrofauna se presentó en el Ac, donde el

contenido de materia orgánica fue de 3.1 %, mientras que para el Ssp fue de 2.9 %. Sin embargo, se considera que más que la influencia de la materia orgánica sobre la abundancia de macrofauna, son las condiciones microambientales del Ac las que pueden estar determinando su presencia, pues de acuerdo al análisis de suelo, los porcentajes de materia orgánica para cada sitio son muy similares.

Huerta y Van del Wal (2012) encontraron un total de doce ordenes taxonómicos y un índice de Shannon de entre 1.11 y 1.43 para la macrofauna en huertos familiares del estado de Tabasco, once de estos ordenes coinciden con los encontrados en el presente estudio, así como un valor similar del índice de Shannon, que fue de 1.10 y 1.23, para el Ssp y el Ac. Así mismo determinaron una correlación de hasta 0.5 entre la abundancia de lombrices y la cantidad de materia orgánica.

Se observó una tendencia entre los sitios, sobre la reducción de la abundancia de organismos para el Spa y el Spt, con excepción del Ac. Cuando se establece un valor en cuanto al nivel de las actividades de manejo de los sitios, parece ser que el Ssp, a pesar de tener el mayor nivel de manejo, es el que favorece las condiciones para el desarrollo de los diferentes organismos, lo cual puede deberse a que, a diferencia de los otros dos sitios, se incluyen actividades tales como un pastoreo controlado y el corte de forraje que reduce la presión que los bovinos pudieran ejercer sobre el suelo. Esta situación en la que se controla el pastoreo puede favorecer la diversidad y la abundancia, pues como mencionan Bardgett y Cook (1998) los cambios en la presión del pastoreo pueden modificar significativamente el ambiente del suelo y de la hojarasca que es el hábitat de diferentes organismos.

### **6.3. Parámetros climáticos**

De acuerdo a los datos climatológicos registrados, la zona donde se realizó este estudio presenta un clima que coincide con la categoría de García (2004) considerado como un Aw<sub>2</sub>, en el que las temperaturas promedio anuales son superiores a los 26 °C (Soto *et al.*, 2001) y la precipitación media anual es de 1500 a 2000 mm.

La humedad promedio fue alrededor del 70 % durante la investigación, y este porcentaje se incrementó ligeramente durante los meses de mayor precipitación, de julio a septiembre, meses en los que se alcanzó un acumulado promedio de 138 y 225 mm, respectivamente.

#### **6.4. Manejo de los agroecosistemas**

Las actividades de manejo dentro de los agroecosistemas de pastoreo, que también pueden considerarse como perturbaciones, con efecto positivo, cuando se observan los valores de riqueza y diversidad de especies germinadas a partir del banco de semillas. En el caso de la riqueza de especies, los valores mas altos fueron para el Spt y el Ssp, en las dos profundidades. En el caso del índice de diversidad de Shannon-Wiener, los valores mas altos fueron en el Ssp y el Spt, de igual manera para ambas profundidades (Cuadro 19). Estos dos sitios presentaron el mayor número de actividades de manejo, comparados con el Spa y el Ac, lo que puede hacer que la llegada de las semillas a estos sitios sea mas constante. Lo anterior coincide con Roschewitz *et al.* (2005) quienes apoyan la idea de que las especies herbáceas al interior de los agroecosistemas se benefician de las perturbaciones del paisaje que se dan debido a la complejidad que estos representan a diferencia, por ejemplo, de cultivos organicos. Renne y Tracy (2007) señalan que las perturbaciones debido al pisoteo del ganado incrementan la densidad y la riqueza de especies en un 82 % y 30 %, respectivamente comparado con sitios sin perturbación, y ya que la longevidad del banco de semillas de hierbas es mayor, es posible que puedan convertirse en reclutadores de semillas. Aunque la riqueza y la diversidad de especies fue mayor en estos sitios, es importante considerar que, en ambos, todas las especies germinadas pertenecieron al estrato herbáceo, y la presencia de especies arbustivas y arbóreas fue nula, a pesar de contar con vegetación de estos estratos en la periferia de los sitios.

Si bien el pastoreo parece fomentar en cierto modo la riqueza y la diversidad del banco de semillas del suelo, la vegetación que de este emerge se compone principalmente de especies herbáceas de poca altura que a menudo son consideradas como malezas, y que pueden estar evidenciando cierto nivel de manejo agronómico. Esta condición es mencionada por Banskin y Banskin (2014) refiriéndose a que muchas de las especies que germinan a partir del banco de semillas del suelo representan a estadios sucesionales previos y no al estado actual.

Se ha encontrado que el sobrepastoreo por ganado bovino provoca disturbio en los pastos lo cual afecta negativamente el tamaño y composición de las gramíneas en el banco de semillas, tanto espacial como temporalmente (Bekker *et al.*, 1997; Snyman, 1998). El impacto de pastoreo es una de las causas más importantes de variación en la población de bancos de semillas, Solomon *et al.*, (2006) encontraron hasta un 75 % de especies son no gramíneas. A diferencia de lo anterior, en

este trabajo las gramíneas representaron poco más del 50% del total de las especies germinadas. Estos autores señalan que las altas presiones de pastoreo pueden afectar la composición del banco de semillas, particularmente para la presencia de pastos, pues los efectos del sobrepastoreo fomentan la presencia de especies no deseadas, lo cual parece coincidir con lo observado en el sistema silvopastoril donde las plantulas de pastos solo representaron el 2.4 % del total de las especies germinadas. Por tanto, las características de la vegetación generada por el banco de semillas del suelo en el sistema silvopastoril, puede explicarse una vez más por el tipo de perturbación al que se ve sujeto y que puede influir en el banco de semillas. En este caso, se tiene documentado que el Ssp ha tenido restricciones para el pastoreo continuo del ganado, lo que puede estar limitando el ingreso de semillas al suelo, a diferencia del Spt, en donde el manejo del ganado permite un pastoreo constante que mantiene y fomenta la incorporación de semillas en el suelo. El hecho de que el pastizal con árboles y el acahual estén sujetos a un nivel de perturbación menor y por consiguiente una reducción del ingreso de semillas, junto a las condiciones microambientales conducen a una pérdida de la viabilidad de las semillas lo cual puede explicar sus bajos valores de riqueza y diversidad.

#### **6.5. Familias y especies identificadas en el banco de semillas en diferentes agroecosistemas**

Se identificó un total de 23 familias y 79 especies vegetales en los cuatro agroecosistemas estudiados (Ver anexo 3). El mayor número de familias (16) correspondió al Spa, seguido del Ssp (14), el Ac (14) y el Spt (13). En cuanto al número de especies, el mayor número se encontró en el Spt (34) seguido del Ac (30), el Spa (29) y el Ssp (28), todo esto a una profundidad de 0 a 5 cm. El hecho de haber encontrado el mayor número de especies en los primeros centímetros de profundidad del suelo coincide con lo reportado por otros autores (Zhang *et al.*, 2001; Cárdenas *et al.*, 2002; Mall y Singh., 2014), quienes incluso sugieren que en los dos primeros centímetros de la superficie del suelo es posible encontrar la mayor fuente de semillas para los procesos de regeneración vegetal. Ma *et al.* (2010) mencionan que la riqueza de especies tiende a disminuir conforme se aumenta la profundidad, situación que se observó en los cuatro agroecosistemas estudiados.

Debido a ello, algunos autores recomiendan realizar los estudios en los primeros centímetros de profundidad (0-10 cm), ya que se encuentra el mayor porcentaje de semillas (Cardenas *et al.*, 2010;

Baskin y Baskin, 2014). El Ssp fue el que presentó la mayor riqueza de especies germinadas después del Spt.

El Spt fue el que presento una mayor riqueza de especies, siendo las especies de las familias Poaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae y Malvaceae, las que contribuyeron con el 70 % de la riqueza total en cuanto abundancia relativa se refiere. El resto de las especies registradas si bien pertenecían a familias y especies diferentes, no tuvieron la misma aportación, pues su abundancia relativa fue menor. Aunque se tuvo la presencia de pastos, una vez que estos fueron colectados se dieron las condiciones para la germinación de las semillas resguardadas en el suelo, cuyas especies fueron diferentes a los pastos.

En el Spt se esperaba un numero mínimo de especies por ser un agroecosistema caracterizado por una alta carga animal, estrato vegetal escaso y altamente ramoneado, así como suelos aparentemente poco fértiles. Este sitio, si bien no mostró una gran diferencia sobre los otros agroecosistemas en cuanto a riqueza de especies, fue en el que la riqueza fue mayor.

Lo anterior puede deberse como lo mencionan Olf y Ritchie (1998) a que los herbívoros a menudo, incrementan la diversidad vegetal de un pastizal mediante procesos que contribuyen al mejoramiento de las tasas locales de colonización y a reducir las tasas de extinción de especies vegetales, además de otros efectos relacionados con el impacto sobre la biomasa y la reproducción de especies dominantes, la densidad y el tipo de regeneración del sitio, así como la fuente de propágulos para plantas raras. La contribución que tiene un pastoreo de bovinos controlado, sobre el desarrollo del banco de semillas del suelo solo pudo apreciarse cuando se limitó su presencia en las muestras de suelo que se colectaron, pues el pisoteo no permite el desarrollo de las plantulas (Sione *et al.*, 2015), una vez que el pastoreo se limita, las diferentes especies resguardadas en el banco de semillas del suelo pueden emerger. En esta dinámica de cambio constante al interior de sistemas de pastoreo, los efectos que se tienen sobre la vegación pueden ser atenuados por el banco de semillas del suelo (Ma *et al.*, 2010).

Aunque es posible que el ganado bovino tenga un efecto benéfico a través de la dispersión de semillas que realizan al moverse de un potrero a otro, esto dependerá del ambiente en el que esto se desarrolle. Autores como Jeddi y Chaieb (2010) sugieren que limitar el pastoreo en zonas áridas, además de fomentar la restaruración de la vegetación contribuye al mejoramiento del suelo. Es

decir, aunque en campo no se aprecia esta diversidad debido al forrajeo y pisoteo constante, en las muestras de suelo se pudo constatar la diversidad de semillas.

A pesar de las características distintas entre cada uno de los agroecosistemas en estudio, la riqueza de especies entre estos no fue muy distinta a las dos diferentes profundidades del suelo. Sin embargo, cuando se considera la profundidad de 0 a 10 cm, se encontró el mayor número de especies en el sistema de Spt con asociaciones negativas altamente significativas (Spearman  $\alpha=0.05$ ) que indica que a mayor profundidad se reduce la riqueza de especies para todos los sitios.

Las principales especies del Ssp pertenecieron a las familias Phyllanthaceae, Euphorbiaceae, Acantaceae, Boraginaceae, Asteraceae y Rubiaceae con especies tales como *Phyllanthus amarus*, *Euphorbia hirta*, *Euphorbia imbricata*, *Heliotropium angiospermum*, *Tridax procumbens*, *Spermacoce Assurgens*. Dichas especies fueron las que registraron los valores más altos de abundancia relativa y todas pertenecen al estrato herbáceo.

Lunt (1997) al comparar el banco de semillas entre un bosque y un pastizal encontró que en el pastizal la mayoría de las especies encontradas eran semillas pequeñas, tanto perennes como anuales, de porte bajo y que se presentaron como componentes relativamente inconspicuos de la flora del pastizal, situación similar a la vegetación germinada en este sitio. Es importante señalar que las semillas germinadas aparecieron una vez que la cubierta vegetal de pastos y la materia orgánica en el suelo fue retirada y una vez restringido al forrajeo de los animales.

Gross *et al.* (2005) sugieren que la reducción de la cobertura vegetal es importante para el reclutamiento especies, pues observaron respuestas similares en pastizales en donde al eliminar la vegetación se tuvo una rápida germinación de las especies resguardadas en el banco de semillas. Xiong *et al.*, (2003) señalan que la acumulación de materia orgánica en el suelo, así como un dosel muy amplio puede limitar el establecimiento de especies con un mayor potencial de colonización, siendo el segundo factor el que más influye en el desarrollo de la vegetación. En el presente estudio, aunque no se presentó un dosel arbóreo muy amplio, la gran cantidad de biomasa producida por el pasto, limitaba la llegada de la luz al suelo, lo que impedía que las especies del banco de semillas pudieran germinar.

Holl (2002) coincide con lo anterior, y señala que la germinación de especies se ve afectada por la densa capa de material vegetal de hasta 10 cm que se forma en pastizales, en este caso de *Axonopus scoparius*.

Cabe mencionar que, aunque no se realizó un muestreo de la vegetación en pie, la mayoría de las especies germinadas en el sistema silvopastoril no se apreciaron al momento de realizar la colecta de las muestras de suelo, pues la dominancia era total por parte de los pastos. Baskin y Baskin (2014) mencionan que rara vez el banco de semillas contiene las mismas especies que se presentan en la vegetación en pie. Esta diferencia entre la vegetación del banco de semillas del suelo y la vegetación en pie ha sido documentada por varios autores (Milberg, 1995; Bekker *et al.*, 1997; Amiaud y Touzard., 2004; Ma *et al.*, 2010; Ge *et al.*, 2013), ya sea por la dominancia de ciertas especies como los pastos, o por falta de alguna perturbación en el suelo que permita la germinación de las semillas.

En el acahual se registró un total de 30 especies diferentes en la profundidad de 0 a 5 cm, sobresaliendo las familias, Oxalidaceae, Acanthaceae, Euphorbiaceae, Loganiaceae, Amaranthaceae, con especies como *Oxalis corniculata*, *Euphorbia imbricata*, *Euphorbia sp.*, *Spigelia anthelmia* e *Iresine diffusa*. Las especies mas representativas de cada una de las familias mencionadas pertenecían al estrato herbáceo.

La riqueza de especies en el acahual fue mayor a lo descrito para estadios sucesionales mas tempranos. González *et al.*, (2009) reportan que la riqueza de especies se incrementa conforme avanza el periodo de sucesión, con un máximo de 9 especies en un sitio con 14 años de abandono en donde las especies integraban al estrato arbóreo principalmente.

Aunque se esperaba registrar la presencia de especies arbustivas y arbóreas en el banco de semillas del acahual, su presencia fue prácticamente nula, lo que puede deberse a la edad que tiene el sitio, con 50 años aproximadamente y una cobertura de casi el 100% de la superficie de suelo por parte del dosel arbóreo. Esto coincide con lo mencionado por Bossuyt *et al.*, (2002) de que conforme avanza la sucesión vegetal la densidad de semillas se va reduciendo. Otro factor que puede explicar este resultado es que las especies arbóreas tienen una baja producción de semillas y fecundidad, así como una viabilidad corta (no mayor a un año), lo que junto a las limitaciones de luz con variaciones de radiación solar por parte de las especies que integran el dosel, generan condiciones microclimáticas que pueden afectar la sobrevivencia de plántulas y retoños, y por consiguiente los

procesos de sucesión vegetal (Finegan, 1996; Guariguata, 2000; Guariguata *et al.*, 2001). Además de lo anterior, cuando se considera la estacionalidad que tiene la zona y las características de la vegetación (mayormente subperennifolia y subcaducifolia), es posible inferir que, durante la época seca, cuando las condiciones de luz son mayores, las semillas no disponen de humedad suficiente que les permita desarrollarse. Por otra parte, cuando en la época de lluvias aumenta la disponibilidad de agua, el rápido rebrote de las especies del dosel contribuye a que la luz no llegue a los estratos vegetales inferiores.

Sione *et al.* (2015) reportan que en sitios con vegetación en estado de regeneración no se observan especies pertenecientes al estrato arbóreo, pero sí un gran número de pastos y un aporte cercano al 50 % de malezas. Esta cantidad de semillas germinadas puede deberse a la edad del sitio de estudio, pues contaba con siete años desde que se detuvieron las actividades agrícolas, por lo que el ingreso de diferentes tipos de semillas fue mayor a diferencia del Ac donde el tiempo que tiene sin mayores perturbaciones es mayor. González *et al.* (2009) dan un argumento similar, al mencionar que los estadios sucesionales primarios, presentan un banco de semillas conformado por especies pioneras que acumulan un gran número de semillas, con pastos y hierbas como los principales componentes, en este caso un estado sucesional relativamente nuevo parece no fomentar el establecimiento de especies arbóreas.

En el Spa se registraron las familias Oxalidaceae, Poaceae, Fabaceae, Malvaceae, Papaveraceae y Euphorbiaceae con especies como *Oxalis corniculata*, *Digitaria bicornis*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Desmodium triflorum*, *Malvastrum coromandelianum*, *Argemone mexicana* y *Euphorbia hirta* como las principales especies para cada familia. Al igual que en los otros agroecosistemas, en el Spa se tuvo la mayor abundancia relativa por parte de las especies mencionadas anteriormente, aunque se presentaron otras especies. Las aportaciones en cuanto a la abundancia fueron menores, pues en algunos casos estas se encontraban representadas solo por un individuo.

En este sitio, a pesar de que existe un dosel consolidado por *Diphysa robinoides*, la presencia de especies fue diferente a la del Ac, pues aquí las especies de la familia Poaceae fue mayor, junto con otras herbáceas. Es claro que la presencia de una gran cantidad de individuos pertenecientes a la familia de las gramíneas responde a que, aunque el dosel es amplio, la luz solar que llega al

suelo, junto a un ingreso continuo de semillas fomenta el desarrollo de diferentes especies en el estrato herbáceo.

Cabe mencionar que la vegetación que se observó bajo los árboles en este sitio es de porte bajo, lo cual coincide con lo mencionado por Menezes y Salcedo., (1999) quienes señalan que bajo árboles como: *Zyziphus joazeiro*, *Spondias tuberosa* y *Prosopis juliflora* la biomasa de la vegetación herbácea es normalmente menor bajo las copas de los árboles.

Es importante señalar que el sitio denominado sistema de pastizal con árboles, aunque los encargados de los sitios no lo reconozcan como un sistema silvopastoril, cumple con las funciones propias de uno, pues su presencia y mantenimiento se debe básicamente a la utilidad que tiene *D. robinoides*, ya que la madera de este árbol es de buena calidad, resistente y tiene diversos usos, como poste para las cercas o como madera de construcción. Además de que se reconoce la utilidad que el estrato herbáceo tiene al proporcionar forraje al ganado y un lugar que brinda confort a los animales debido a la sombra de los árboles.

Bajo las condiciones anteriores, es evidente que el sitio denominado Spa requiere de actividades de manejo que permitan un mayor desarrollo de la vegetación del estrato herbáceo, algo similar a lo mencionado por Shibu (2012) quien señala que, aunque es posible que los sistemas agroforestales puedan sostener una alta riqueza de especies herbáceas, la intensidad de las actividades de manejo son determinantes en la conservación de tales sistemas.

Para el caso del Spa, se toma en cuenta que un dosel arbóreo muy cerrado interfiere con el desarrollo de la vegetación de los estratos inferiores, y a pesar de que este sitio puede estar cumpliendo funciones tales como la captura de semillas de diferentes especies, ya sea a través de la anemocoria o por los procesos de zoocoria que se dan cuando los árboles funcionan como percha para aves y murciélagos (Guevara *et al.*, 2005). La sombra, generada durante la temporada de lluvias y la falta de agua durante la estación seca, al igual que en el Ac, puede estar limitando la expresión de la diversidad resguardada en el banco de semillas del suelo.

### **6.5.1. Abundancia total de especies en los diferentes agroecosistemas**

Para la variable abundancia, los resultados indicaron una diferencia estadística (Kruskal-Wallis, 0.05 %) entre la abundancia total de especies del Spt y el Spa., en las profundidades de 0-5 cm y de 0-10 cm.

La relación entre la abundancia de especies y la profundidad sólo presento asociaciones negativas altas y estadísticamente significativas ( $\alpha=0.05$ ) en el Spa y en el Spt (Cuadro 25 y 26). El Ssp y el Ac (Cuadro 24 y 27) no presentaron asociaciones respecto a la profundidad y la abundancia de semillas.

En el Spt el mayor número de individuos fue para un morfotipo de la familia Poaceae con 175 individuos, seguido de especies de las familias Fabaceae, Euphorbiaceae y Malvaceae. Tessema *et al.*, (2012), mencionan que en pastizales con un pastoreo ligero encontraron la mayor abundancia de plántulas germinadas en el banco de semillas, entre las que destacaron los pastos, hierbas y una sola especie de leñosa y una densidad de 2061 semillas  $m^{-2}$  y 1302 semillas  $m^{-2}$  para el sitio con menor actividad de pastoreo. En este caso la densidad de semillas de la parcela de mayor pastoreo presento a 326 semillas  $m^{-2}$  y la menor a 129 semillas  $m^{-2}$ . El Spt presenta un alto nivel de pastoreo, lo que se agrega a los antecedentes de pastoreo en menor escala en años previos, cuando el sitio no era empleado para la reclusión del ganado bovino, con un total de 489 semillas germinadas se situa por debajo de lo encontrado por el autor. Dölle y Schmidt, (2009), difieren en lo anterior, pues consideran que un nivel de perturbación, en este caso a través del arado, promueve una mayor germinación de semillas, de hasta 30,000 semillas en promedio, recalando que cuando el periodo de sucesión se incrementa se reduce considerablemente la regeneración de la vegetación.

Díaz *et al.* (2003) en pastizales en España encontraron que la densidad de semillas fue mayor que en las zonas arboladas con un promedio de 31,811 semillas  $m^{-2}$ , pertenecientes a 52 especies, principalmente anuales, densidad también superior a lo encontrado en el Spt

La abundancia total de especies mas baja se presento en el Spa, en la profundidad de 0-5 cm y de 0-10 cm. Se registraron las familias Oxalidaceae, Poaceae, Fabaceae, Malvaceae, Papaveraceae, de éstas las especies que presentaron la mayor abundancia de plántulas germinadas fueron: *Oxalis corniculata*, *Digitaria bicornis*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Desmodium triflorum*, *Malvastrum coromandelianum* y *Argemone mexicana*. La mayoría de las especies registradas pertenecieron al estrato herbáceo, solo se registraron dos especies de arbustos (*R. communis*), una morfoespecie no identificada y un árbol (*G. sepium*).

Estudios como el de Holl (2002) identificaron que, bajo el dosel de arbustos jóvenes de porte medio, la mayor parte de la vegetación pertenece al estrato herbáceo y determinaron que el establecimiento de plántulas de especies arbóreas tales como *Ardisia sp.*, *Cecropia sp.*,

*Dendropanax sp.*, *Heliocarpus sp.*, *Inga sp.*, entre otras, se ve favorecido por las condiciones de luz que se dan bajo el dosel de los arbustos y la poca competencia que presentan los pastos. A diferencia de lo anterior, en este estudio, la principal especie que conformaba el dosel arbóreo tienen poco más de veinte años de edad y una altura de casi diez metros. La sombra que genera en ocasiones es bastante cerrada, por lo que es probable esta sea la causa de la nula presencia de especies del estrato arbóreo. Ortega *et al.* (2011) en pastizales cercanos al bosque mesófilo, documentaron situaciones similares con relación al efecto de las pasturas sobre la germinación y desarrollo de especies arbóreas, en este caso, al interior de pastizales nativos y exóticos en donde la competencia que los últimos tienen con las plántulas germinadas, son la principal limitante para su establecimiento en un escenario de restauración pasiva. Los beneficios que representa el dosel arbóreo no solo se han identificado en especies arbóreas de interés local, pues Zanne y Chapman (2001) reportan que incluso las plantaciones comerciales promueven la regeneración de especies forestales bajo la copa de los árboles mejor que en pastizales sin manejo.

El número total de especies fue similar en todos los sitios a las dos diferentes profundidades. Cuando se toma en cuenta la profundidad de 0-10 centímetros se encuentra que la mayor cantidad de especies están en el Spt y en el Ssp y la menor cantidad en el Ac y en el Spa. La abundancia de especies presentó diferencia significativa solo entre el Spt y el Spa, este último registró el menor número de individuos.

La riqueza de especies no fue muy diferente entre ellos. Sin embargo, se observa que en los cuatro sitios, existe una abundancia mayor para un reducido número de especies que son características de cada uno, en su mayoría especies pioneras.

Lo encontrado en este estudio se debe a que los bancos de semilla que se originan en zonas cultivadas o con cierto nivel de perturbación tienen una mayor diversidad que los del bosque nativo, principalmente de hierbas y arbustos, en donde las especies pioneras son capaces de producir un gran número de semillas, mostrando una dominancia que puede darse por una especie del banco de semillas persistente (Garwood, 1989; Bossuyt *et al.*, 2002).

Lo anterior, al igual que el nulo registro de especies arbóreas, como sugieren Cubiña y Mitchell (2001), se debe a la falta de mecanismos que lleven las semillas al interior de los pastizales, son condiciones que se presentaron en el presente trabajo, y que pueden explicar las características de la riqueza y abundancia de cada uno, pues los sitios, a pesar de que se encuentran con vegetación

secundaria en distintos niveles de desarrollo en la periferia, esta parece no contribuir significativamente con especies propias de estados sucesionales avanzados.

### **6.5.2. Indicadores de diversidad para el banco de semillas del suelo de diferentes agroecosistemas de pastoreo**

Hasta el momento se ha dado a conocer cual fue la riqueza en cada uno de los agroecosistemas estudiados. Se observo que la riqueza de especies entre cada uno de ellos no presento amplias diferencias a pesar de que a simple vista se pueden apreciar características particulares en cada uno.

A fin de establecer una medida que permitiera comparar la diversidad del banco de semillas de los sitios, se estimaron diferentes índices de diversidad. El índice de diversidad de Shannon-Wiener se calculo para cada uno de los sitios a las diferentes profundidades en las que se realizaron las observaciones sobre la germinación del banco de semillas.

El test no paramétrico de Kruskal-Wallis indico diferencias significativas entre la diversidad del Ssp y el Ac, siendo mayor en el primero. Estas diferencias se dieron de manera similar en cada una de las profundidades en las que se realizaron las observaciones, excepto en la profundidad de > 5-10 cm, en donde el pastizal con árboles también presento diferencias significativas con la diversidad del Ac. La asociación de la diversidad estimada a través del índice de Shannon con la profundidad solo fue significativa ( $\alpha=0.05$ ) para el sistema silvopastoril, con un coeficiente de correlación negativo de -0.62

Cuando se establece una medida para la biodiversidad de diferentes sitios, los valores pueden variar notablemente de acuerdo al tipo de agroecosistema que se este considerando. Por ejemplo, Oosterhoorn y Kappelle (2000) encontraron que el índice de Shannon presento valores de entre 3 y 4 cuando evaluaron la diversidad vegetal y del rebrote en una gradiente que iba del interior de un bosque tropical hacia un pastizal, encontrando la mayor diferencia entre el bosque y el pastizal con mayor intensidad de manejo. Los valores mas altos se dieron al interior del bosque, contrario a lo que se observo entre el Ac y el Ssp, en donde a pesar de que los valores del índice de Shannon-Wiener fueron inferiores a lo reportado, estos fueron mayores para el Ssp. Cabe recalcar los altos valores del índice obtenidos por los autores se debe a que los bosques tropicales son ecosistemas que presentan una de las biodiversidades mas altas a nivel mundial, lo que puede influir en los valores de las zonas estudiadas.

Cardenas *et al.* (2002) al estudiar diferentes niveles de perturbación en pastizales encontraron que los valores mas altos del índice de Shannon (1.94) se obtuvieron en sitios con perturbaciones altas debido al pastoreo intensivo y disminuyen con una perturbación intermedia. Lo anterior coincide con lo encontrado en el presente estudio, pues a pesar de que el índice de Shannon del Ssp (2.13) fue mas alto que en el Spt (1.79), estos no fueron estadísticamente diferentes. La diferencia entre estos dos últimos sitios recae en el nivel de perturbación que presenta, pues el Spt se reconoce como el sitio con mayor perturbación. Plue *et al.* (2010) de forma similar mencionan que los pastizales representan un tipo de disturbio intermedio que permite una recuperación mas rápida de la vegetación a partir del banco de semillas en comparación con sitios con antecedentes de uso agrícola, condición que es similar en el Ssp, pues la perturbación a la que se ve sujeta es menor que en el Spt.

Respecto a la diferencia entre los valores de diversidad del sistema silvopastoril es importante mencionar que a pesar de que los sitios se encuentran continuos uno al otro, no se observo que las especies del Ac se encontraran al interior del sistema silvopastoril, esto apoya los planteamientos de Cubiña y Mitchell (2001) y Lin y Cao (2009), quienes mencionan una disminución de especies leñosas conforme se incrementa la distancia de la zona arbolada hacia los pastizales.

Los resultados en cuanto a las especies presentes en el Ssp sugieren una reducción del establecimiento de especies que no pertenecen al estrato herbáceo, pues a diferencia de lo reportado por los autores, que encontraron especies propias de la zona arbolada, en el Ssp no se tuvo registro de ninguna especie leñosa. Por otra parte, en sistemas integrados cultivos-ganadería, Schuster *et al.* (2016) encontraron que el valor del índice de Shannon para el banco de semillas del suelo fue de 2.44 para escenarios en los que la altura de las pasturas se mantiene a un máximo de 10 cm, valor similar al del Ssp (2.13). Cabe señalar que las muestras del suelo que se tomaron en este sitio fueron tratadas de manera similar, pues se eliminaron los pastos que se encontraban en la superficie para dar paso a la germinación de las semillas, en donde algunos géneros y especies como *Phyllanthus sp* y *S. americanum* fueron también reportados por el autor.

La riqueza y diversidad de la vegetación encontrada en el banco de semillas del suelo, cuando se asocia con la riqueza de ordenes y abundancia de macrofauna, muestra coeficientes de correlación altos (Cuadros 24 y 27) y estadísticamente significativos ( $\alpha=0.05$ ) tanto en el Ssp como en el Ac. En este último, la diversidad de especies no se asocio significativamente con las variables de

macrofauna. En esta asociación, cuando se observan los valores de las variables en cada uno de los sitios, apuntan a que el sistema silvopastoril es el que biológicamente puede estar expresando una correlación funcional, pues es en este dónde la diversidad y la abundancia de organismos de los diferentes ordenes de macrofauna es mas alta, y donde se tiene una equidad mayor, a diferencia del Ac. Deyn *et al.* (2000) coinciden en el efecto positivo que puede tener la macrofauna pues conduce a un mejoramiento de la vegetación, así como de la homogeneidad de las comunidades vegetales a través de la supresión de especies dominantes.

El Spt y el Spa presentaron diversidades ligeramente superiores al Ac, con valores de 1.79 y 1.74, respectivamente, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Se podría inferir que estos dos agroecosistemas están sujetos a procesos por los cuales la llegada y establecimiento de semillas se ve favorecida, por mejores condiciones de luz, incorporación por parte del ganado a través de sus deyecciones o la contribución que tienen las aves, insectos (hormigas) y el viento para la llegada de semillas en el caso del pastizal con árboles.

Adicional al índice de Shannon-Wiener se calculó el índice de diversidad máxima,  $H' \text{ Max}$ , cuyo valor se obtendría si todas las especies estuvieran presentes en las muestras de forma equitativa. En este caso los valores obtenidos son únicos para cada sitio y profundidad, pues este se obtuvo a partir del logaritmo base 2 del total de especies encontradas. Los valores obtenidos fueron de entre 4 y 5. Cabe señalar que las especies no estuvieron representadas de manera equitativa, pues algunas de ellas fueron relativamente más abundantes que otras. Por ejemplo, ciertas especies representaban desde un 14 hasta un 45 % del total de la abundancia de especies.

### **6.5.3. Equidad y dominancia en el banco de semillas del suelo de cuatro diferentes agroecosistemas de pastoreo**

La equidad y dominancia son dos de las métricas mas comunes cuando se desean establecer medidas de biodiversidad, ambas métricas toman valores de entre 0 y 1. Para el caso de la equidad, toma valores cercanos a 1 cuando todas las especies estén representadas igualmente tomado en cuenta sus abundancias relativas, y 0 cuando sus abundancias son mas desiguales. La dominancia por su parte, alcanza valores cercanos a 1 cuando todos los individuos de la muestra son de la misma especie, y se acerca a 0 cuando no se presenten especies dominantes (Badano, 2013).

En el caso de la equidad de cada uno de los sitios en las diferentes profundidades en las que se realizaron las observaciones del banco de semillas, se encontraron diferencias significativas entre

el Ssp y el Ac con valores de 0.86 y 0.64, respectivamente (Kruskal Wallis 0.05%). Estos valores son muy similares cuando se toman en cuenta las profundidades de 0-5 y 0-10 (ver Cuadro 19).

Cuando se considera la representatividad de todas las especies que germinaron en cada uno de los agroecosistemas estudiados, se puede observar que en el sistema silvopastoril, existen algunas especies que tienen un mayor número de individuos respecto a otras. Por ejemplo, *P. amarus*, con 40 individuos en total, representan solo el 14 % del total de la muestra, lo que junto con el resto de las especies integran el 100 % del total registrado para el sitio. A pesar de que *P. amarus* parece tener el mayor porcentaje, el valor de equidad de 0.86 que se obtuvo sugiere que las abundancias relativas del resto de las especies están representadas de forma similar. En el caso del Ac, el valor de equidad fue de 0.64, lo que indica una diferencia mas grande en cuanto a las abundancias relativas que presentan las especies registradas en este sitio. En este caso, cerca del 57 % del total de los individuos registrados para el Ac estuvieron representados por dos especies (*O. corniculata* y un morfotipo no identificado), difiriendo con el resto de las especies, las cuales en algunos casos llegaron a registrar especies con un solo individuo.

En el Spa y el Spt, aunque no se presentaron diferencias significativas respecto a los dos anteriores agroecosistemas, los valores de equidad fueron menores, y las abundancias relativas recayeron para el pastizal con árboles sobre: *O. corniculata*, *D. bicornis* y *D. aegyptium*. En el Spt, las especies con las mayores abundancias relativas fueron un morfotipo no identificado de la familia poaceae, *D. triflorum* y *E. indivisa*.

Para la dominancia de especies se aplicó -de igual forma- la prueba de Kruskal-Wallis. En la profundidad de 0 a 5 cm las diferencias fueron estadísticamente significativas para el Ssp y el Spa comparado con el Ac, con valores de 0.27, 0.36 y 0.58, respectivamente.

Los valores inferiores de dominancia para el Ssp pueden explicarse cuando se observa el numero de individuos que registraron, en este caso para *P. amarus*, *E. hirta*, *E. imbricata*, *Euphorbia sp*, *H. angiospermun* y *T. procumbens*, las cuales a pesar de que fueron mayores respecto al resto de las especies no reflejan la dominancia de una especie en específico.

El Ac por su parte, presento la dominancia mas alta, con un valor de 0.58, representado por *O. corniculata*, que además de tener el mayor número de individuos, representó cerca del 46 % de la abundancia total de especies registradas en este sitio.

En el Spa, aunque la dominancia aumento (0.36), esta no fue significativamente diferente con el Ssp, ni con el Spt, pero si con el Ac. Las principales especies fueron *Oxalis corniculata*, *Digitaria bicornis*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Malvastrum coromandelianum*, *Desmodium triflorum* y *Argemone mexicana*.

El Spt no presento diferencias significativas cuando se comparo con los otros agroecosistemas. En este caso, el valor de dominancia fue de 0.42 y se debe principalmente a la cantidad de plantulas que germinaron para un morfotipo de la familia Poaceae, y que represento hasta el 36 % de la abundancia total registrada en este sitio. En este caso, es notable que en el sistema de pastoreo tradicional se observó la dominancia por parte de una especie de pasto, lo que era de esperarse, pues el sitio de donde provenían las muestras de suelo, recibe el ingreso de semillas de forma constante a través de diferentes mecanismos.

Cuando se considera a la equidad y a la dominancia como medidas que complementan a la riqueza específica y al índice de diversidad de Shannon-Wiener, de tal foma que ayuden a describir la estructura y composición de las diferentes comunidades, es importante señalar, mas allá del valor numérico que se obtiene, cual o cuales son las especies que contribuyen para obtener esos resultados. Por ejemplo, en el caso de la equidad de especies para los cuatro agroecosistemas, el Ssp si bien presento una equidad similar con todas las especies registradas, las que presentaron abundancias relativas mayores fueron las especies del estrato herbáceo de porte bajo, a menudo consideradas como malezas.

La funcionalidad que puede tener el banco de semillas en cuestiones relacionadas a la restauración de la vegetación en zonas de ganadería debe tomar en cuenta a las especies germinadas, pues dichas especies, aunque son elementos de los primeros estadios sucesionales, que incian la colonización de un sitio previo al establecimiento de especies leñosas, pueden estar indicando cierto grado de perturbación el cual no es posible atribuir a un solo factor; pues ello es el resultado de elementos tales como las características del sitio, la intensidad y el tipo de uso de suelo (Guariguata y Osterbag, 2001).

#### **6.5.4. Similitud del banco de semillas en cuatro diferentes agroecosistemas de pastoreo**

Se estimaron los valores de similitud del banco de semillas del suelo la profundidad de 0 a 5 y de > 5 a 10 cm.

Para la profundidad de 0 a 5 cm, cuando se comparan cada uno de los sitios entre si (Cuadro 15), los valores de similitud son superiores al 50 % con excepción del Spt y el Ac, cuya similitud fue del 44 %. Los intervalos de confianza calculados para la comparación entre los sitios muestran que no existe diferencia significativa entre la similitud de los sitios.

Amiaud y Touzar (2004) encontraron similitudes altas de hasta un 72% para el banco de semillas de un pastizal y un sitio con un estado sucesional avanzado y mencionan que a menudo son pocas las especies de los pastizales las que se pueden encontrar en el banco de semillas de mayor edad. Sin embargo, en el presente estudio la similitud entre el Ssp y el Ac fue alta (74 %) lo cual parece indicar que en ambos sitios se tiene la presencia de especies similares, correspondientes al estrato herbáceo.

La similitud mas baja entre los agroecosistemas se encontro entre el Spt y el Ac (44 %). Esto debido a que los sitios son altamente contrastantes en varios aspectos. Por ejemplo, las condiciones de manejo a las que se ven sometidos, particularmente el pastoreo de bovinos para el primero y las características de la vegetación en pie del segundo.

Es importante mencionar que la similitud alta entre algunos sitios debido a las especies que comparten no representan una funcionalidad específica cuando se consideran las especies que componen a cada uno de estos sitios, pues como se menciono, algunos como el Spt y el Ssp presentan una riqueza y diversidad mayor que el Ac.

Los altos valores de similitud del banco de semillas entre los agroecosistemas en la profundidad de 0 a 5 cm muestran que las especies presentes estan siendo intercambiadas entre los sitios a través de diferentes mecanismos, como el viento y los bovinos principalmente. Sin embargo, la expresión del banco de semillas y de las principales especies de cada uno puede estar relacionada a las diferentes condiciones a las que están sometidos.

Para la profundidad de 5 a 10 cm todos los valores de similitud entre los agroecosistemas fueron superiores en comparación a la profundidad de 0 a 5 cm (Cuadro 16). El índice de similitud entre los sitios no presento diferencias significativas. La similitud más alta se dio entre el Spa y el Spt (93 %) seguido del Ssp comparado con el Spa (87 %) y el acahual (82 %)

La alta similitud entre los sitios a la profundidad de 5 a 10 puede deberse a diferentes factores. Por ejemplo, a las características del banco de semillas, como mencionan Baskin y Baskin (2014), los

pastizales tienen semillas más persistentes que, por ejemplo, las selvas tropicales. El hecho de que la similitud a una profundidad mayor sea alta también puede verse influido por las actividades realizadas previamente en la zona, pues de acuerdo a la información obtenida de los propietarios, antes de que el Ssp, el Spa y el Spt se establecieran como se encuentran actualmente., toda la zona era utilizada para el pastoreo extensivo de ganado bovino, el cual es movido constantemente de potreros para su alimentación. Ya que el Ac es el sistio que ha permanecido relativamente sin perturbaciones durante cerca de 50 años, este no fue sujeto de las actividades realcionadas con la ganadería y es probable que a esto se deba la similitud del 61 % que tiene con el sistema de pastoreo tradicional.

Cabe señalar que para establecer la similitud del banco de semillas de los diferentes agroecosistemas, se considero el uso del índice de Chao-Sorensen, una modificación del índice de Sorensen desarrollado por Chao *et al.*, (2005). Este tiene como objeto reducir el sesgo del submuestreo a través de la estimación y compensación para los efectos de especies compartidas no observadas. Los autores recomiendan su uso si se tienen muestras de diferente tamaño, cuando se sabe o se sospecha que habido un submuestreo o cuando es probable que existan varias especies consideradas como raras. Estos autores mencionan que su uso mejora las interpretaciones de la similitud entre sitios, pues el índice de Sorensen clásico asume que los datos de las muestras empeladas son representaciones completas y reales de la composición evaluada. Lo anterior debe tomarse en cuenta al momento de consultar la información obtenida (Cuadros 15 y 16), pues se observan comparaciones entre sitios donde el índice de similitud es menor con un mayor número de especies compartidas respecto a la comparación de sitios donde valores mas altos de similitud tienen menos especies compartidas.

#### **6.5.5. Características del banco de semillas del suelo de cuatro agroecosistemas de pastoreo**

El análisis de componentes principales basado en los índices diversidad del banco de semillas del suelo (Figura 18) señala que los agroecosistemas mejor representados para el caso de la riqueza y diversidad vegetal son el Spa, el Spt y el Ac. Los cosenos cuadrados de las variables sugieren que la abundancia de especies, en el eje F3 esta representada por el Ssp. En el caso de las variables que se consideraron para la macrofauna, los agroecosistemas que mejor están representados por ésta son el Ssp y el Ac en el eje F1.

Para el caso de la profundidad, de 5 a 10 cm la riqueza y diversidad de especies vegetales esta representada por el Ssp y el Spt. La abundancia de especies vegetales solo fue representada por el Spa y el Ssp.

Las variables de riqueza, diversidad y abundancia de macrofauna estuvieron mayormente representadas por el Ssp y el Ac.

Estos resultados de agrupación muestran cuales son los agroecosistemas que están mejor descritos por las variables relacionadas a la diversidad vegetal y a la macrofauna del suelo. En este sentido se puede observar que cuando se comparan las variables con los agroecosistemas a las dos diferentes profundidades, aunque existen diferencias debido a la naturaleza del banco de semillas de acuerdo a la profundidad, los resultados muestran que los agroecosistemas con cierto grado de actividad en su interior influyen en los valores de los índices de diversidad. Las variables de macrofauna, estan representadas por el Ssp y el Ac en ambas profundidades, que son dos sitios que tienen en común porcentajes similares de materia orgánica.

Finalmente, el análisis de correspondencias canónicas (Figura 15) permitio integrar los resultados mas relevantes del análisis del suelo, incluyendo la macrofauna como parte biológica, asi como los valores de la diversidad estimada para el banco de semillas del suelo, las especies germinadas y las actividades de manejo de cada uno de los agroecosistemas. Las variables de riqueza, diversidad y abundancia de especies vegetales representan al Ssp principalmente, al igual que la abundancia de macrofauna. El nivel de manejo del Ssp se encuentra asociado con las características del banco de semillas del suelo. El Spa y el Spt se ven influenciados también por estas variables, pero en menor grado. La riqueza y diversidad de Ordenes de macrofauna, así como el % de materia orgánica son las variables que representan al Ac. Esto respalda el argumento de que la materia orgánica fomenta la riqueza de macrofauna y por consiguiente la diversidad, más no la abundancia, pues como se menciono anteriormente, la estabilidad del sitio no contribuye al aumento de la macrofauna del suelo.

Tomando en cuenta los resultados del presente estudio, es posible plantear la siguiente definición para el banco de semillas del suelo:

“El banco de semillas en agroecosistemas ganaderos son todas aquellas semillas viables que se encuentran resguardadas en los primeros centímetros del suelo, con capacidad para iniciar los

procesos de sucesión vegetal siempre y cuando se brinden las condiciones ambientales adecuadas para su germinación, y que son depositadas a través de diferentes mecanismos, principalmente los relacionados con el pastoreo de bovinos.

#### **6.6. Contrastación de hipótesis**

La hipótesis de trabajo señala que, la riqueza y diversidad de especies vegetales del banco de semillas del suelo en agroecosistemas ganaderos está asociada positivamente a las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como por las actividades de manejo de cada sitio.

La mayor riqueza y diversidad del banco de semillas del suelo se dio en la profundidad 0-5 cm. La riqueza de especies no presentó diferencias estadísticas significativas entre sitios ( $P > 0.05$ ). La diversidad estimada con el índice de Shannon-Wiener difirió significativamente entre el sistema silvopastoril y el acahual con valores de 2.13 y 1.46 respectivamente. Dado que las características físicas y químicas del suelo fueron similares entre los cuatro sitios, con excepción de la materia orgánica que fue mayor para el acahual (2.7 %) y el sistema silvopastoril (2.5). Siendo el sistema silvopastoril, donde la abundancia y diversidad de macrofauna edáfica es mayor que en el resto de los sitios, con una asociación fuerte de entre 0.6 y 0.7 de la riqueza y diversidad de la vegetación con la riqueza y abundancia de ordenes de macrofauna y en el cual el nivel de perturbación debido al manejo es más alto, fomenta la diversidad del banco de semillas del suelo. La hipótesis de trabajo se rechaza parcialmente.

## 7. CONCLUSIONES

Con base en los resultados se concluye que: el mayor número de familias taxonómicas fue para el sistema silvopastoril en la profundidad de 0-5 cm. El número de especies fue mayor a la profundidad de 0-5 cm sin diferencias significativas entre sitios. Más del 50 % del total de las semillas se encontraron en la profundidad de 0-5 cm siendo el sistema de pastoreo tradicional el que registró la mayor abundancia. La mayor presencia de dicotiledóneas fue en el sistema silvopastoril a la profundidad de 0-5 y >5-10, y en el sistema de pastoreo tradicional monocotiledóneas. La densidad de semillas /m<sup>2</sup> fue mayor en la profundidad de 0-5 cm para todos los sitios, destacando el sistema de pastoreo tradicional y el sistema silvopastoril. La diversidad del banco de semillas estimada con el índice de Shannon-Wiener fue similar en la profundidad de 0-5 cm entre cada sitio, siendo mayor en el sistema silvopastoril (2.13). En el sistema silvopastoril se observó una asociación significativa entre la riqueza y diversidad de la vegetación con la riqueza y abundancia de macrofauna edáfica. El sistema silvopastoril fue el que presentó características sobresalientes en cuanto a la riqueza, diversidad y abundancia de especies vegetales, además de que fue el sitio con mayor abundancia de macrofauna edáfica. Los valores de equidad (0.86) y dominancia (0.27) de este sitio sugieren, además, que las comunidades vegetales generadas por el banco de semillas del suelo, serán más heterogéneas que en los otros agroecosistemas. La similitud entre todos los sitios fue superior al 50 % en la profundidad 0-5 cm e incluso fueron mayores en la profundidad > 5-10. El hecho de que las actividades de manejo se realicen con mayor frecuencia en el sistema silvopastoril, particularmente el pastoreo, tiene un efecto positivo en el banco de semillas, pues tiene una función de dispersión que fomenta el ingreso e intercambio de semillas entre los sitios. Tomando en cuenta la alta similitud de la composición botánica del banco de semillas, es probable que el manejo de los sitios sea determinante para su expresión y desarrollo.

El banco de semillas del suelo en áreas de ganadería puede funcionar como un elemento clave para la restauración de la vegetación e incrementar la diversidad de los pastizales, sin embargo, es importante considerar que, ya que el banco de semillas genera solo especies del estrato herbáceo, algunas consideradas como pioneras, la restauración debe ser complementada con un manejo que propicien el desarrollo de especies arbustivas y arbóreas, pues si bien existen en las cercanías fuentes de semillas capaces de establecerse, la dominancia de pastos o el sobrepisoteo, aunado a su breve periodo de viabilidad pueden limitar su establecimiento.

## 8. LITERATURA CITADA

- Albrecht H., and E. Forster. 1996. The weed seed bank of soils in a landscape segment in southern Bavaria-I. Seed content, species composition and spatial variability. *Vegetation*. 125: 1-10
- Albrecht H., M. Pilgram. 1997. The weed seed bank of soil in a landscape segment in southern Bavaria. II. Relation to environmental variables and to the surface vegetation. *Plant Ecol*. 131: 31-43.
- Álvarez C., G. Williams., A. Newton. 2005. Disturbance effects on the seed bank cloud forest fragments. *Biotropica*. 37 (3): 337-342.
- Álvarez C., L. Barradas, O. Ponce and G. Williams. 2014. Soil seed bank, seed removal and germination in a seasonally dry tropical forest in Veracruz, Mexico. *Bot. Sci.* 92 (1): 111-121.
- Amiaud B. and B. Touzard. 2004. The relationships between soil seed bank, aboveground vegetation and disturbances in old embanked marshlands of Western France. *Flora*. 199: 25-35.
- Anderson J. and J. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. 2<sup>a</sup> ed. C.A.B. International. United Kingdom (Ed). 221 p.
- Arnold M., y F. Osorio. 1998. Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta de Moebio*. 3:40-49.
- Badano E., 2013. Midiendo la biodiversidad. Conceptos y herramientas. *In: Análisis de biodiversidad para biología de la conservación*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.
- Bakker J., P. Poschod, R. Strykstra, R. Bekker and K. Thompson. 1996. Seed Banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Botanica Neerlandica*. 45 (4): 461-490.
- Bardgett R., and R. Cook. 1998. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. *App. Soil Ecol*. 10 (1998): 263-276.
- Baskin C., and J. Baskin. 2014. Germination ecology of seeds in the persistent seed bank. *In: Seeds. Ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination*. Segunda edición. Carol C. Baskin, Jerry M. Baskin (eds). Academic Press. 187-276 pp.
- Becker H. 2001. Social impact assessment. *European Journal of operational Research*. 128 (2001): 311-321.
- Bedoya J., J. Estévez., y G. Castaño V. 2010. Banco de semillas del suelo y su papel en la recuperación de los bosques tropicales. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*. 14 (2): 77-91.
- Bekker R., G. Verweij, R. Smith, R. Reine, J. Bakker and S. Schneider. 1997. Soil seed banks in European grasslands: does land use affect regeneration perspectives? *Journal of Applied Ecology*. 34: 1293-1210.

- Benech R., R. Sánchez., F. Forcella., B. Kruk., C. Ghera. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*. 67: 105-122.
- Bertalanffy L. 1976. *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, Desarrollo y Aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica. México. 311 p.
- Bignel D., R. Constantino, C. Csuzdi, A. Karyanto, S. Konaté, J. Louzada, F. Susílo, J. Ebagrenín, R. Zanetti. Macrofauna. 2012. *In: Moreira M., Huising E., Bignell D. (eds). Manual de Biología de Suelos Tropicales-Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo el suelo*. Instituto Nacional de Ecología. México. 337 pp.
- Blaney S. and P. Kotanen. 2002. Persistence in the seed bank: the effects of fungi and invertebrates on seed of native and exotic plants. *ÉCOSCIENCE*. 9 4): 509-517.
- Bossuyt B., M. Heyn, M. Hermy. 2002. Seed bank and vegetation composition of forest stands of varying age in central Belgium: consequences for regeneration of ancient forest vegetation. *Plant Ecology*. 162: 33-48.
- Boulding K., 1956. General System Theory- The skeleton of Science. *Management Science*. 2 (3):197-208.
- Brenchley W. 1918. Buried weed seeds. *The Journal of Agricultural Science* 9 (1):1-31.
- Briones M. 2014. Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*. 2 (2014): 1-22.
- Burch S., P. Berry., M. Sanders. 2014. Embedding climate change adaptation in biodiversity conservation: A case of study of England. *Environmental Science & Policy*. 37 (2014): 79-90.
- Cano A., J. Zavala, A. Orozco, M. Valverde. y P. Pérez. 2012. Composición y abundancia del banco de semillas de una región semiárida del trópico mexicano: patrones de variación espacial y temporal. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83: 437-446.
- Cárdenas C., C. Posada V. y O. Vargas. 2002. Banco de semillas germinable de una comunidad vegetal de paramo húmedo sometida a quema y pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia). *Ecotropicos*. 15 (1):51-60.
- Casanova L., 2016. De von Bertalanffy a Luhmann; deconstrucción del concepto de “agroecosistema” a través de las generaciones sistémicas. *Revista MAD- Revista del Magister en Análisis Sistémico Aplicado a la Sociedad*.35 (2016): 60-74.
- Castillo G., S. Avendaño., M. Medina. 2011. Flora y Vegetación. *In: La Biodiversidad en Veracruz. Estudio de Caso. Sección IV. Diversidad de Ambientes*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología A.C. México. 541 p.
- Chambers R., 1994. Participatory Rural Appraisal (PRA): challenges, potentials and paradigm. *World Development*. Vol 22 (10): 1437-1454.
- Chao A., R. Chazdon, R. Colwell, T. Shen. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*. 8 (2005): 148-159

- Cilia V., C. Aradillas y F. Díaz B. 2015. Las plantas comestibles de una comunidad indígena de la Huasteca Potosina, San Luis Potosí. *Entreciencias*. 3 (7): 143-152.
- Cingolani A., I. Noy M., D. Renison., y M. Cabido. 2008. La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecología Austral*. 18: 253-271.
- Cisneros V., D. Martínez., S. Díaz., J. Torres., C. Guadarrama., A. Cruz. 1993. Caracterización de la agricultura de la zona central de Veracruz. Castillejos N. (ed.). Centro Regional Universitario de Oriente. Universidad Autónoma Chapingo. 339 p.
- Cole L. M. Bradford, P. Shaw, R. Bardgett. 2006. The abundance, richness and functional role of soil meso and macrofauna in temperate grassland-A case study. *Applied*. 33 (2006): 186-198.
- Comisión Nacional Forestal. 2014. Inventario Estatal Forestal y de Suelos-Veracruz de Ignacio de la Llave 2013. CONAFOR (Ed.) 218p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2018. Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>
- Conway G. 1986. The Properties of Agroecosystems. *Agricultural Systems*. 24 (1987): 95-117.
- Cubiña A., T. Mitchell. 2001. The effect of distance from forest edge on seed rain and soil seed bank in a tropical pasture. *Biotropica*. 33 (2): 260-267
- Cui L., W. Li., X. Zhao., M. Zhan., Y. Lei., Y. Zhang., Z. Gao., X. Kang., B. Sun., y Y. Zhang. 2016. The relationship between standing vegetation and the soil seed bank along the shores of Lake Taihu, China. *Ecological Engineering*. In press. 10 pp.
- Dalling J., A. Davis, B. Schutte, A. Arnold. 2011. Seed survival in soil: interactive effects of predation, dormancy and the soil microbial community. *Journal of Ecology*. 99 (6): 89-95
- Dantas F. 2015. Climate change, biodiversity, ticks and tick-borne diseases: the butterfly effect. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 4 (2015): 452-461.
- De Souza M., F. Maia, M. Pérez. 2006. Banco de semillas del suelo. *Agriscientia*. 23 (1): 33-44.
- Decaëns T., J. Jiménez, E. Barros, A. Chauvel, E. Blanchart, C. Fragoso, P. Lavelle. 2004. Soil macrofauna communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 103 (2004): 301-312.
- Dekkers R. 2015. *Theory Systems Applied*. Springer. (Ed). 257 p.
- Del Angel A., J. Villagómez, M. Mendoza, A. Rebolledo. 2006. Valoración de recursos naturales y ganadería en la zona centro de Veracruz. 12 (2): 29-48.
- Denoia J., O. Sosa., G. Zerpa y B. Martín. 2011. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos*. 30 (1): 129-141.
- Deyn G. C. Raajumakers, H. Rik, M. Berg, P. Ruiten, H. Verhoef, T. Martijn, W. van der Putten. 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*. (422): 711-713.

- Díaz M., T. Marañón, J. Arroyo, B. Garrido. 2003. Soil seed bank and floristic diversity in a forest-grassland mosaic in southern Spain. *Journal of Vegetation Science*. 14 (5): 701-709.
- Ding H., P. Nunes., 2014. Modeling the links between biodiversity, ecosystem services and human wellbeing in the context of climate change: results from an econometric analysis of the European forest ecosystems. *Ecological Economics*. 97 (2014):50-73.
- Dölle M., W. Schmidt. 2009. The relationship between soil seed bank, above-ground Vegetation and disturbance intensity on old-field successional permanent plots. *Applied Vegetation Science*. 12 (4): 415-428.
- Dreber N., K. Esler. 2011. Spatio-temporal variation in soil seed banks under contrasting grazing regimes following low and high seasonal rainfall in arid Namibia. *Journal of Arid Environments*. 75 (2011):174-184.
- Eisenhauer N., D. Straube, E. Johnson, D. Parkinson, S. Scheu. 2009. Exotic ecosystem engineers change the emergence of plants from the seed bank of a deciduous forest. *Ecopsystems*. 12: 1008-1016.
- Equihua M., Hernández A., O. Pérez, G. Benítez, S. Ibañez. 2016. Cambio Global: El Antropoceno. *Ciencia Ergo Sum* 23(1): 67-75
- Eriksson O. 1995. Seedling recruitment in deciduous forest herbs: the effects of litter, soil chemistry and seed bank. *Flora*. 190: 65-70.
- EstimateS. Colwell R. 2013. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. Recuperado de <[purl.oclc.org/estimates](http://purl.oclc.org/estimates)>
- Ferranini A., J. Alatalo., D. Gervasoni., B. Foggi. 2016. Exploring the compass of potential changes induced by climate warming in plant communities. *Ecological Complexity*. 29 (2017): 1-9.
- Finch W., G. Leubner. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *Tansley Reviews. New Phytologist*. 171:501-523.
- Finegan B., 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology & Evolution*. 11 (3): 119-124.
- Fisher J., E. Veneklaas, W. Loneragan K. Dixon, E. Veneklaas. 2009. Soil seed bank compositional change constrains biodiversity in an invaded species-rich woodland, *Biological Conservation*. 142: 256–269.
- Flores S., y N. Dezzeo. 2005. Variaciones temporales en cantidad de semillas en el suelo y en la lluvia de semillas en un gradiente bosque-sabana en la Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia*. 30 (1): 39-43.
- Fragoso C. J. Kanyonyo, A. Moreno, B. Senapati, E. Blanchart, C. Rodríguez. 1999. A survey of tropical earthworms: taxonomy, biogeography and environmental plasticity. *In: earthworm management in tropical agroecosystems*. P. LAvelle, L. Brussaard y P. Hendrix (eds). CAB International. Londres. Reino Unido. 27-55 pp.
- Gamboa W., y J. Pohlman. 1997. La importancia de las malezas en una agricultura sostenible del trópico. *Der Tropenlandwirt-Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics*. 98 (1): 117-123.

- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM (ed). Serie Libros n° 6.
- Garwood N.C. 1989. Tropical soil seed banks: a review. In Leck MAParker VTSimpson RL (eds). Ecology of Soil Seed Banks. New York: Academic Press Inc.
- Ge X., R. Wang., Y. Zhang., B. Song y J. Liu. 2013. The soil seed banks of typical communities in wetlands converted from farmlands by different restoration methods in Nansi Lake, China. *Ecological Engineering*. 60: 108-115
- Gioria M., B. Osborne B. 2009. Assessing the impact of plant invasions on soil seed bank communities: Use of univariate and multivariate statistical approaches. *Journal of Vegetation Science* 20: 547–556
- Gliessman S., 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, C.R. CATIE, 359 p.
- Gliessman S., F. Rosado., C. Guadarrama., J. Jedlicka., A. Cohn., V. Mendez., R. Cohen., L. Trujillo., C. Bacon., R. Jaffe. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*. 16 (1): 13-23.
- González B., M. Tibagu., G. Castro., P. Oden. 2009. Soil seed bank assembly following secondary succession on abandoned agricultural fields in Nicaragua. *Journal of Forestry Research*. 20 (4): 349-354
- Gross K., G. Mittelbach, H. Reynolds. 2005. Grassland invasibility and diversity: response to nutrients, seed input and disturbance. *Ecology*. 86 (2): 476-486.
- Gross, K. L. 1990. A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal of Ecology* 78: 1079–1093.
- Guariguata M. 2000. Seed and seedling ecology of tree species in neotropical secondary forests: management implications. *Ecological Applications*. 10 (1): 145-154.
- Guariguata M., R. Ostertag. 2001. NEotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*. 148 (2001): 185-206.
- Guevara S., J. Laborde., y G. Sánchez R. 2005. Los árboles que la selva dejó atrás. *Interciencia*. 30 (10):595-601.
- Guevara S., Laborde J. and Sánchez-Rios G. 2004. Rain Forest Regeneration beneath the Canopy of Fig Trees Isolated in Pastures of Los Tuxtlas, Mexico. *BIOTROPICA* 36(1): 99-108.
- Guevara S., P. Moreno. 2008. El dilema de los recursos naturales. La ganadería en el trópico de México. *Guaraguao*. 12 (29): 9-23
- Guevara, S., J. Laborde., G. Sánchez. 2004. La fragmentación. Los Tuxtlas: el Paisaje de la Sierra, 111-134
- Hecht S. 1999. La evolución del pensamiento agroecológico. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable* 4: 15-30.

- Henig N., A. Eshel, G. Ne'eman. 1996. Ph and osmotic potential ash a post-fire germinationinhibitors. 96 (1): 71-76.
- Hernández R., C. Fernández., P. Babtista.1998. Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill. México. 850 p.
- Hernández X. 1977. El agroecosistema: concepto central del análisis, la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en México. En E. Hernández (Ed.), Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola (pp. XI-XIX) Chapingo Méx.: Colegio de Postgraduados.
- Holl K. 2002. Effect of shrubs on tree seedling establishment in an abandoned tropical pasture. *Journal of Ecology*. 90: 179-187.
- Honda Y. 2008. Ecological correlations between the persistence of the soil seed bank and several plant traits, including seed dormancy. *Plant Ecology*. 196: 301-309.
- Horvitz C., D. Schemske. 1994. Effects of dispersers, gaps, and predator on dormancy and seedling emergence in a tropical herb. *Ecology*. 75 (7): 1949-1958.
- Huang D., K. Wang., W. Wu. 2007. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. *Journal of Arid Environment*. 70 (2007) 120–136.
- Huerta E., H. van der Wal. 2012. Soil macroinvertebrates' abundance and diversity inhome gardens in Tabasco, México, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *European Journal of Soil Biology*. 50 (2012): 68-75.
- Ibrahim M. C. Villanueva., y F. Casasola. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 15 (Supl. 1): 73-87.
- Jeddi K., M. Chaieb. 2010. Changes in soil properties and vegetation following livestock graing exclusion in degrades arid environments of South Tunisia. *Flora*. 205 (2010): 184-189.
- Jiménez C., R. Torres B., y P. Corcuera M., 2010. Biodiversidad. Una alerta. Casa del Tiempo. Vol. III. 36: 9-16
- Johansen O. 1993. Introducción a la Teoría General de Sistemas. Grupo Noriega (Eds.) 167p.
- Keeley J., y C. Fotheringham. 2000. Seeds: the ecology of regeneration in plant communities. 2° edición. Editorial M. Fenner.311-330.
- Kremer R. 1993. Management of Weed Seed Banks with Microorganisms. *Ecological Applications*, 3: 42–52.
- Lang F. A. Pérez., J. Martínez., D. Platas., L. Ojeda., I. González. 2011. Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mando y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*. 29 (2): 169-177.
- Lavelle P., A. Spain, M. Blouin, G. Brown, T. DecaënsM. Grimaldi, J. Jiménez, D. McKey, J. Mathieu, E. Vélasquez, A. Zangerlé. 2016. Ecosystems engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. *Soil Science*. 0 (00): 1-19.

- Lavelle P., T. Decaëns, M. Aubert, S. Barot, M. Blouin, F. Bureau, P. Margerie, P. Mora, J. Rossi. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of soil Science*. 42 (2006): S3-S15.
- Lee Hyohyemi., J. Alday, K. Hyun, E. Ju, E. Marrs. 2014. Effects of flooding on the seed bank and soil properties in a conservation area on the Han River, South Korea. *Ecological Engineering*. 70 (2014): 102-113.
- Levey D. and M. Byrne. 1993. Complex ant-plant interactions: rain forest ants as secondary dispersers and post-dispersal seed predators. *Ecology*. 74 (6): 1802-1812.
- Lin L., M. Cao. 2009. Edge effects on soil seed banks and understory Vegetation in subtropical and tropical forest in Yunnan, SW China. *Forest Ecology and Management*. 257 (2009): 1344-1352.
- Lira A., S. Guevara., J. Laborde., G. Sánchez. 2007. Composición florística en potreros de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 80: 59-87.
- Loening L., y M. Markussen. 2003. Pobreza, deforestación y sus eventuales implicaciones para la biodiversidad en Guatemala. *Economía, Sociedad y Territorio*. 14 (4): 279-315.
- Lohmann U., R. Sausen., L. Bengtsson., U. Cubasch., J. Perlwitz., E. Roeckner. 1993. The Köppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models. *Climate Research*. (3): 177-193.
- Loranger G., D. Imbert, F. Bernhard, J. Ponge, P. Lavelle. 2007. Soil fauna abundance and diversity in a secondary semi-evergreen forest in Guadeloupe (Lesser Antilles): influence of soil type and dominant tree species. *Biology and Fertility of Soils*. 44 (2): 269-276.
- Lumaret J., I. Martínez M. 2005. El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos. *Acta Zoológica Mexicana*. 21 (3): 137-148.
- Lunt I., 1997. Germinable soil seed banks of anthropogenic native grasslands and grassy forest remnants in temperate south-eastern Australia. *Plant Ecology*. 130: 21-34.
- Luzuriaga A., A. Escudero, J. Olano, J. Loidi. 2005. Regenerative role of seed Banks following an intense soil disturbance. *Acta Oecologica*. 27 (2005): 57-66.
- Ma M., X. Zhouy., y G. Du. 2010. Role of soil seed bank along a disturbance gradient in an alpine meadow on the Tibet plateau. *Flora*. 205: 128-134.
- Malagón R., M. Prager. 2001. El Enfoque de Sistemas: una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (Eds.) 177p.
- Mall U., y G. Singh. 2014. Soil Seed Bank Dynamics: History and Ecological Significance in Sustainability of Different Ecosystems. In *Environment and Sustainable Development*. M. h. Fulekar et al. (eds). India. 31-46 p.
- Mantyka C., P. Visconti., M. Di Marco., T. Martin., C. Rondinini., J. Rhodes. 2015. Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. *Biological Conservation*. 187 (2015). 103-111.

- Martínez I., y M. Cruz R. 2009. El uso de químicos veterinarios y agrícolas en la zona ganadera de Xico, Centro de Veracruz, México y el posible impacto ambiental. *Acta Zoológica Mexicana*. 25 (3): 673-681.
- Martínez M., y X. Garcia O. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 080 (sup): 69-84
- Martins A., V. Engel. 2007. Soil seed banks in tropical forest fragments with different disturbance histories in southeastern Brazil. *Ecological Engineering*. 31 (2007) 165–174.
- Menezes R., H. Salcedo. 1999. Influence of tree species on the herbaceous understory and soil chemical characteristics in a silvopastoral system in semi-arid northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 23: 817-826.
- Middleton B. y McKee K. 2011. Soil warming alters seed bank responses across the geographic range of freshwater *Taxodium distichum* (Cupressaceae) swamps. *American Journal of Botany* 98: 1943–1955.
- Milberg P., 1995. Soil seed banks after eighteen years of succession from grassland to forest. *Oikos*. 1 (72): 3-13.
- Millar C., L. Turk, y H. Foth. 1971. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editoril Continental. John Wiley & Sons, Inc, (eds). México. 531 p.
- Mitschunas N., M. Wagner and J. Filser. 2006. Evidence for a positive influence of fungivorous soil invertebrates on the seed bank persistence of grassland species. *Journal of Ecology*. 94: 791-800.
- Muñiz M., G. Williams L., y J. Rey B. 2006. Distance effect from cloud forest fragments on plant community structure in abandoned pastures in Veracruz México. *Journal of Tropical Ecology*. 22: 431-440.
- Murgueitio E., Z. Calle. 1999. Diversidad biológica en la ganadería bovina. *In: Agroforestería para la producción animal en América Latina*. M. Sánchez y M. Rosales (Eds.) FAO. Roma. 515 p.
- Nee M. 1986. Flora de Veracruz. Solanaceae I. 1º edición. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz. México. 191 p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Consultado el 11 de septiembre de 2016. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Olf H., M. Ritchie. 1998. Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends in Ecology & Evolution*. 13 (7): 261-265.
- Ooi M., 2012. Seed bank persistence and climate change. *Seed Science Research*. (2012) 22: S53-S6
- Ooi M., T. Auld, y A. Denham. 2009. Climate change and bet-hedging: interactions between increased soil temperatures and seed bank persistence. *Global Change Biology* 15: 2375–2386.

- Oosterhoorn M., M. Kapelle. 2000. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rica montane cloud forest. *Forest Ecology and Management*. 126 (2000): 291-307.
- Ortega A., F. López O., N. Ramírez M., y J. García F. 2011. Early seedling establishment of two tropical cloud forest tree species: The role of the native and exotic grasses. *Forest Ecology and Management*. 261: 1336-1343.
- Partridge T. 1989. Soil seed banks of secondary vegetation on the Port Hills and Banks Peninsula, Canterbury, New Zealand, and their role in succession. *New Zealand Journal of Botany*. 27 (3): 421-435
- Pérez A. y Landeros C. 2009. Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos* 73: 19-25.
- Plascencia R., A. Barrientos C., y A. Raz G. 2011. La biodiversidad en México su conservación y las colecciones ecológicas. *Ciencias*. 101: 36-43
- Platas D., J. Vilaboa., B. William. 2016. Una aproximación dialéctica a los agroecosistemas. *Agroproductividad*. 9 (12): 82-86.
- Plue J., K. Verheyen, H. Calster, D. Marage, K. Thompson, R. Kalamees, M. Jankowska, B. Bossuyt, M. Hermy. 2010. Seed banks of temperate deciduous forests during secondary succession. *Journal of Vegetation Science*. 21: 965-978.
- Plue J., P. De Frenne, K. Acharya, J. Brunet, O. Chabrierie, G. Decocq, M. Diekmann, B. Graae, T. Heinken, M. Hermy, A. Kolb, I. Lemke, J. Liira, T. Naaf, A. Shevtsova, K. Verheyen, M. Wulf, S. Cousins. 2013. Climatic control of forest herb seed bank along a latitudinal gradient. *Global Ecology and Biogeography*. 22(10): 1106-1117
- Ponce A., M, Álvarez. 1953. Modificaciones al código internacional de nomenclatura botánica. *Taxon*. 2 (7): 167-176.
- Pugnaire F., R. Lázaro. 2000. Understory species composition in a semi-arid environment: the effect of shrub age and rainfall. *Annals of Botany*. 86: 807-813.
- Quintana P., N. González., G. Ramírez., G. Domínguez., M. Martínez. 1996. Soil seedbanks and regeneration of tropical rain forest from milpa fields at the selva Lacandona, Chiapas, Mexico. *Biotropica* 28: 192-209.
- Ramírez N., M. González., P. Quintana. 1992. Banco y lluvia de semillas en comunidades sucesionales de bosques de pino-encino de los altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*. 1992 (20): 59-75.
- Rapoport A., 1986. *General System Theory. Essential Concepts & Applications*. Tunbridge Wells, Kent & Cambridge, Mass. Primera edición. Editorial Abacus Press. pp: 1-36
- Rees M., D. Kelly., O. BjØmstad. 2002. Snow tussocks, chaos and the evolution of mast seeding. *American Naturalist*. 160 (1): 45-59.
- Renne I. B. Tracy. 2007. Disturbance persistence in managed grasslands: shift in aboveground community structure and the weed seed bank. *Plant Ecology*. 190 (1) 71-80.

- Roschewitz I., D. Gabriel, T. Tschardtke, C. Thies. 2005. The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of Applied Ecology*. 42 (2005) 873-882.
- Ruiz O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia*. 31(2): 140-145.
- Rzedowsky G., J. Rzedowsky. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2° ed. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Patzcuaro, Michoacan, México. 1406 p.
- Sagar G. y A. Mortimer. 1976. An approach to the study of the population dynamics of plants. *Applied Biology*. 1 (1976): 1-49.
- Sagar I., M. Tigabu, P. Oden. 2009. Spatial distribution, advanced regeneration and stand structure of Nepalese sal (*Shorea robusta*) forests subject to disturbances of different intensities. *Forest, Ecology and Management*. 257(19): 66-75.
- Sagar R., A. Raghubanshi, J. Singh. 2003. Tree species composition, dispersión and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest región of India. *Forest Ecology and Management*. 186 (2003): 61-71.
- Sanderson M., C. Fieldmann, J. Schmidt, A. Herrmann, F. Taube. 2010. Spatial distribution of livestock concentration áreas and soil nutrients in pastures. *Journal of Soil an Water Conservation*. 65(3): 180-189.
- Santilli M., P. Moutinho, S. Schwartzman, D. Nepstad, L. Curran, and C. Nobre. 2005. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial Essay. *Climactic Change* 71:267–276.
- Santín M., D. Martín., E. Zambrana y J. Tenorio. 2016. Management of weed emergence and weed seed bank in response to different tillage, cropping systems and selected soil properties. *Soil & Tillage Research*. 161: 38-46.
- Sarandón S. 2002. Incorporando el enfoque agroecológico en las instituciones de educaión agrícola superior: la formación de profesionales para una agricultura sustentable. *Agroecología y Desarrollo Rural Sustentable*. 3(2): 40-48.
- Sarandón S., C. Flores. 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas. Sarandón S., C. Flores (Eds.). La Plata: Universidad Nacional de La Plata. 464 p.
- Schiere J., R. Groenland., A. Vlug., H. Van Keulen. 2004. System Thinking in Agriculture an overview. Chapter 4 in *Emerging Challenges for farming systems - lessons from Australian and Dutch agriculture*. Ken Rickert. (Ed.). 125 p.
- Schuster M. A. Pelissari, A. Moraes, S. Harrison, R. Mark, S. Lustosa, I. Anghinoni, P. Carvalho. 2016. Grazing intensities affectr weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop-livestocl system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 232 (2016): 232-239.
- Scott K., S. Setterfield., M. Douglas., A. Andersen. 2010. Soil seed banks confer resilience to savanna grass-layer plants during seasonal disturbance. *Acta Oecologica*. 36 (2010): 202-210.

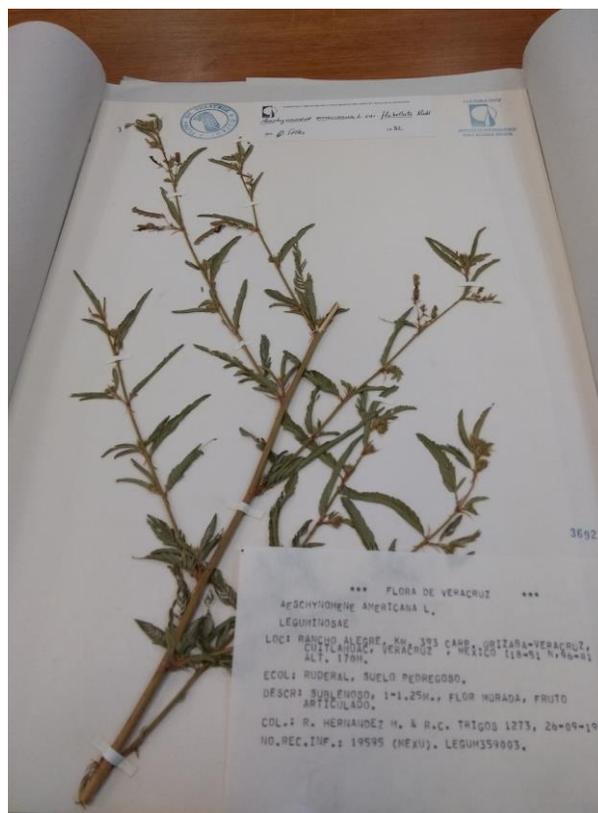
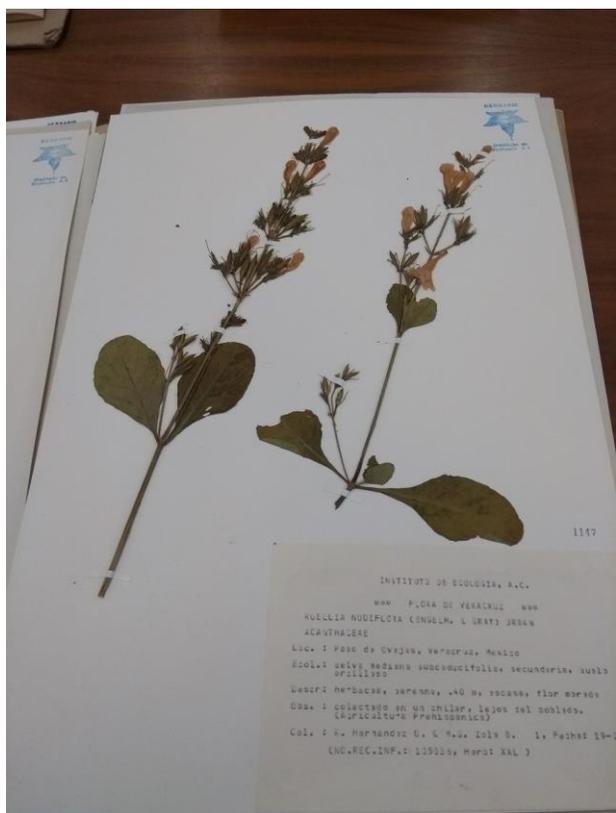
- Segan D., K. Murray., J. Watson. 2016. A global assessment of current and future biodiversity vulnerability to habitat loss-climate change interactions. *Global Ecology and Conservation*. 5 (2016): 12-21.
- Shibu J. 2012. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems*. (2012) 85: 1-8.
- Simpson R., M. Allesio, V. Parker. 1989. Seed banks: general concepts and methodological issues. *In: Ecology of Soil seed Banks*. M. Allesio, V. Parker, R. Simpson (eds). Academic Press. 1989. 3-8 p.
- Sione S., S. Ledesma, L. Rosemberger, R. Galliussi, R. Sabbattini. 2015. Banco de semillas del suelo, en relación a dos estados sucesionales del bosque native en Entre Ríos. *Quebracho. Revista de Ciencias Forestales*. 23 (1-2): 62-76
- Smith R., L. Atwood., M. Morris., D. Mortensen., y R. Koide. 2016. Evidence for indirect effects of pesticide seed treatments on weed seed banks in maize and soybean. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 216: 269-273.
- Snyman H., 2005. The effect of fire in the soil seed bank of a semi-arid grassland in South Africa. *South Africa Journal of Botany*. 71 (1): 53-60.
- Snyman, H.A., 1998. Dynamics and sustainability of the rangeland ecosystem in an arid and semi-arid climate of southern Africa. *Journal of Arid Environments* 39, 655–666.
- Solomon T.B., Snyman H.A. and Smit G.N. 2006. Soil seed bank characteristics in relation to land use systems and distance from water in a semi-arid rangeland of southern Ethiopia. *South African Journal of Botany* 72: 263 – 271. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2005.09.003>
- Soto M., L. Gama. M. Gómez. 2001. Los climas calidos subhmedos del Estado de Veracruz. *Forestra Veracruzana*. 3 (2): 31-40.
- Sternberg M., M. Gutman, A. Perevolotsky, J. Kigel. 2003. Effects of grazing on soil seed bank dynamics: an approach with functional groups. *Journal of Vegetation Science*. 14: 375-386.
- Swaine M. 2001. Protocol for assay of soil seed banks. In: *Proceedings of the Euroworkshop on Functional Groups in Tropical Forest Trees*. <http://www.Nbu.Ac.Wk/tropical/ssbprotocol> swaine. Doc (27 March 2014, date last accessed).
- Tessema Z., W. De Boer, R. Baars, H. Prins. 2012. Influence of grazing on soil seed banks determines the restoration potential of aboveground vegetation in a semi-arid savanna of Ethiopia. *Biotropica*. 44 (2): 211-219.
- Thompson K. y Grime PJ. 1979. Seasonal variation in seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology* 67: 893–921.
- Thompson K., y Grime P. 1983. A comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures. *Journal of Applied Ecology*. 20 (1983): 141-156.
- Thompson S., R. Band. T. Hodgson. 1993. Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology* 7 (2): 236-241.

- Thompson, K. 1992. The functional ecology of seed banks. In M. Fenner (Ed.). *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*, pp. 231–258. CAB International, Wallingford, UK.
- Toledo V. 1994. La biodiversidad biológica en México. nuevos retos para la investigación en los noventas. *Ciencias*.34:43-57.
- Traba, J., F. Azcárate, B. Peco. 2004. From what depth do seeds emerge? A soil seed bank experiment with Mediterranean grassland species. *Seed Science Research*,14(3).
- Trabaud L., P. Renard. 1999. Do light and litter influence thre recruitment of *Cistus* spp. Stands? *Israel Journal of Plant Sciences*. 47 (1): 1-9.
- Travieso A., P. Moreno., A. Santos. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *Interciencia*. 30 (1): 12-18.
- Ulloa M., 2013. Devastación de los bosques y selvas en México: La urgencia de su conservación. *Botanical Sciences*. 91 (4): 539-540.
- Valdés L., 1999. El enfoque de análisis de sistemas y la administración para la calidad. *Revista Contaduría y Administración*. 195: 49-63
- Van Langevelde F. Z. Tessema., W. F. de Boer., y H. Prins. 2016. Soil seedbank dynamics under the influence of grazing as alternative explanation for herbaceous vegetation transitions in semi-arid rangelands. *Ecological Modelling*. 337: 253-261.
- Vázquez V., Godínez G., M. Montes E., M. Montes E., y A. Ortiz G. 2004. Los quelites de Ixhuapan, Veracruz: disponibilidad, abastecimiento y consumo. *Agrociencia*. 38: 445-455.
- Verheyen K. Wulf M. and Cousins SAO. 2013. Climatic control of forest herb seed banks along a latitudinal gradient. *Global Ecology and Biogeography* 1-12
- Villarreal H., M. Álvarez., S. Córdoba., F. Escobar., G. Fagua., F. Gast., H. Mendoza., M. Ospina., A. Umaña. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad. Segunda edición. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. Febrero 2006. 236p.
- Villaseñor J., G. Ibarra M., J. Meave., y E. Ortiz. 2005. Higher taxa as surrogates of plant biodiversity in a megadiverse country. *Conservation Biology*. 19 (1): 232-238.
- Villers L., I. Trejo. 1998. Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia*. 23 (1):10-19.
- Vleeshouwers L., H. Bouwnmeester., A. Karssen. 1995. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology*. 83 (6): 1031-1037
- Walck J., S. Hidayati., K. Dixon., K. Thompson., P. Poschold. 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology*. 17 (6): 2145-2161.
- Wang Y., D. Jiang., y Q. Zhou. 2013. Recent advances in soil seed bank research. *Contemporary Problems of Ecology*. 6 (5): 520-524.

- Whitmore A., 2000. Impact of livestock on soil. *In: Livestock Farming and the Environment: proceedings of Workshop 4 on Sustainable Animal Production*. September 28, 2000. Hannover. pp:39-42.
- Whittle C., L. Duchesne, T. Needham. 1997. The importance of buried seeds and vegetative propagation in the development of postfireplant communities. *Environmental Reviews*. 5(1): 79-87.
- Williams E. 1984. Changes during 3 years in the size and composition of the seed banks beneath a long-term pasture as influenced by defoliation and fertilizer regime. *Journal of Applied Ecology*. 21 (2): 603-615.
- Winkel, V.K., B. Roundy, 1991. Effects of cattle trampling and mechanical seedbed preparation on grass seedling emergence. *J. Range Manage.*, 44: 176–80.
- Wunderle J. 1997. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*. 99 (1997) 223-235
- Xiong S., M. Johansson., F. Hughes., A. Hayes., K. Richards y C. Nilsson. 2003. Interactive effects of soil moisture, vegetation canopy, plant litter and seed addition on plant diversity in a wetland community. *Journal of Ecology*. 91: 976-986.
- XL- STAT. 2018. Complementos estadísticos de Microsoft Excel. Version 208.5. Addinsoft.
- Yáñez A., R. Twilley., A. Lara. 1998. Los ecosistemas de manglar ante el cambio climático global. *Madera y Bosques*. 4 (2): 3-19.
- Young A., D. Guo., P. Desmet., G. Midgley. 2016. Biodiversity and climate change: Risk to dwarf succulents in Southern Africa. *Journal of Arid Environments*. 129 (2016): 16-24.
- Zanne A., C. Chapman. 2001. Expediting reforestation in tropical grasslands: distance and isolation from seed sources in plantations. *Ecological Applications*. 11 (6): 1610-1621.
- Zepeda C., A. Lot., X. Nemiga., J. Manjarez. 2015. Evaluación del banco de semillas y su importancia en la rehabilitación de la vegetación de humedales del centro de México. *Botanical Sciences*. 93 (4):695-707
- Zhang Z., W. Shu., C. Lan., M. Wong. 2001. Soil Seed Bank as an Input of Seed Source in Revegetation of Lead/Zinc Mine Tailings. *Society for Ecological Restoration*. 9 (4): 378-385.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Cotejo de ejemplares colectados y herborizados con ejemplares depositados en el Herbario XAL del Instituto de Ecología A.C.



**Anexo 2. Toma de muestras de suelo para estimación de la diversidad del banco de semillas en diferentes agroecosistemas de pastoreo.**



**Anexo 3. Familias y especies del banco de semillas del suelo en diferentes agroecosistemas de pastoreo.**

Especie	Familia	Agroecosistemas			
		Ssp	Spa	Spt	Ac
<i>Acalypha setosa</i>	Euphorbiaceae	4	-	2	-
<i>Aeschynomene americana</i>	Fabaceae	1	-	2	-
<i>Amaranthus hybridus</i>	Amaranthaceae	2	-	-	1
<i>Argemone mexicana</i>	Papaveraceae	11	13	-	-
<i>Bouteloua repens</i>	Poaceae	-	-	20	-
<i>Capraria frutescens</i>	Scrophulariaceae	-	-	-	3
<i>Cenchrus incertus</i>	Poaceae	-	-	1	-
<i>Commellina diffusa</i>	Commelinaceae	-	1	-	-
<i>Crotalaria pumila</i>	Fabaceae	-	-	-	-
<i>Cyanthillium cinereum</i>	Asteraceae	2	-	-	6
<i>Cyperus compressus</i>	Cyperaceae	-	-	11	-
<i>Cyperus dentoniae</i>	Cyperaceae	-	-	1	-
<i>Cyperus humilis</i>	Cyperaceae	-	-	-	6
<i>Cyperus uniflorum</i>	Cyperaceae	-	-	1	1
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Poaceae	-	40	18	-
<i>Desmodium neomexicanum</i>	Fabaceae	-	-	1	-
<i>Desmodium triflorum</i>	Fabaceae	-	15	58	-
<i>Digitaria bicornis</i>	Poaceae	2	34	20	-
<i>Elytraria imbricata</i>	Acanthaceae	54	8	9	46
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Euphorbiaceae	20	-	1	-
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	65	6	48	8
<i>Euphorbia indivisa</i>	Euphorbiaceae	-	1	50	-
<i>Euphorbia sp.</i>	Euphorbiaceae	47	12	28	23
<i>Evolvulus alsinoides</i>	Convolvulaceae	-	-	7	-
<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae	-	2	-	-
<i>Heliotropium angiospermum</i>	Boraginaceae	31	2	-	5
<i>Indigofera acutifolia</i>	Fabaceae	-	-	1	-
<i>Indigofera hirsuta</i>	Fabaceae	9	-	-	-
<i>Iresene diffusa</i>	Amaranthaceae	-	-	-	6
<i>Leucaena leucocephala</i>	Fabaceae	1	-	-	-
<i>Lycianthes sp.</i>	Solanaceae	12	-	4	1
<i>Malvastrum coromandelianum</i>	Malvaceae	1	20	30	2
<i>Megathyrsus maximus</i>	Poaceae	1	-	-	1
<i>Melochia nodiflora</i>	Malvaceae	-	-	-	1
<i>Mollugo verticillata</i>	Molluginaceae	7	30	6	-
<i>Momordica charantia</i>	Cucurbitaceae	-	1	1	-
Morfoespecie 10	n/i	1	-	-	1
Morfoespecie 27	n/i	-	-	1	-
Morfoespecie 29	n/i	-	-	1	-

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Ssp</b>	<b>Spa</b>	<b>Spt</b>	<b>Ac</b>
Morfoespecie 30	n/i	-	13	-	9
Morfoespecie 31	Verbenaceae	-	2	-	1
Morfoespecie 34	n/i	-	1	-	-
Morfoespecie 35	n/i	-	1	-	-
Morfoespecie 38	n/i	-	-	-	7
Morfoespecie 40	n/i	-	-	-	2
Morfoespecie 41	n/i	-	-	-	4
Morfoespecie 46	n/i	-	-	-	1
Morfoespecie 48	n/i	-	1	-	4
Morfoespecie 49	n/i	-	-	-	1
Morfoespecie 54	Fabaceae	-	-	1	-
Morfoespecie 56	Asteraceae	3	-	-	-
Morfoespecie 61	Malvaceae	-	-	1	-
Morfoespecie 63	n/i	-	12	1	39
Morfoespecie 64	Pteridofita	-	-	-	13
Morfoespecie 65	Poaceae	2	-	-	-
Morfoespecie 66	Solanaceae	1	-	-	-
Morfoespecie 69	Poaceae	-	8	29	2
Morfoespecie 70	Poaceae	-	1	5	-
Morfoespecie 71	Poaceae	2	-	176	-
Morfoespecie 73	Poaceae	5	-	4	-
Morfoespecie 74	Poaceae	-	4	22	1
Morfoespecie 75	Poaceae	-	-	5	-
Morfoespecie 76	Poaceae	-	-	16	-
Morfoespecie 79	Poaceae	5	-	-	1
<i>Murdannia nudiflora</i>	Commelinaceae	-	-	7	-
<i>Oxalis corniculata</i>	Oxalidaceae	49	66	13	243
<i>Phyllanthus amarus</i>	Euphorbiaceae	46	2	10	1
<i>Physalis gracilis</i>	Solanaceae	28	-	-	-
<i>Portulaca sp</i>	Portulacaceae	1	1	2	-
<i>Ricinus comunis</i>	Euphorbiaceae	-	2	-	-
<i>Ruellia nudiflora</i>	Acanthaceae	6	2	3	5
<i>Rynchosia minima</i>	Fabaceae	3	-	2	-
<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	-	-	16	-
<i>Solanum americanum</i>	Solanaceae	5	1	1	2
<i>Spermacoce assurgens</i>	Rubiaceae	29	1	-	-
<i>Spigelia anthelmia</i>	Loganiaceae	6	1	1	11
<i>Stenandrium dulce</i>	Acanthaceae	-	-	1	20
<i>Tridax procumbens</i>	Asteraceae	24	-	-	-
<i>Zornia diphylla</i>	Fabaceae	-	1	8	-
<b>Total de semillas germinadas</b>		<b>486</b>	<b>305</b>	<b>646</b>	<b>478</b>