

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

**Distribución y pruebas pregerminativas en las especies del género *Agave*
(Asparagaceae) en Cadereyta, Querétaro.**

(Tesis Individual).

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en **Biología**

Presenta:

Alisa Vega Zamorano

Dirigido por:

Luis Gerardo Hernández Sandoval

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Presidente

Dra. Rosalinda González Santos

Secretario

Dra. Marcela Quiróz Sodi

Vocal

Dra. Olga Lidia Gómez Nucamendi

Vocal

Dra. Mónica Queijeiro Bolaños

Vocal

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Marzo 2024

México



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Distribución y pruebas pregerminativas en las
especies del género *Agave* (Asparagaceae) en
Cadereyta, Querétaro.

por

Alisa Vega Zamorano

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: CNLIN-267479

RESUMEN

Querétaro es uno de los estados con una diversidad considerable de *Agave* en el territorio mexicano. Dentro del estado, Cadereyta tiene el primer lugar en número de especies debido a su extensión territorial y heterogeneidad espacial. Los agaves son plantas con gran importancia debido a sus usos. Su importancia cultural y biológica hace que los estudios tengan relevancia para la comprensión de los conocimientos acerca del manejo y uso. El objetivo de esta tesis fue aportar al conocimiento regional sobre aspectos de la distribución y el manejo de las semillas de las especies de *Agave*. Se llevó a cabo un registro fitogeográfico a partir de las bases de registro y colectas en campo. Se encontró la presencia de 20 especies, distribuidas en nueve tipos de vegetación, cuatro tipos de clima, dos tipos de suelo y en altitudes de 1000 a 3000 m. Las especies se distribuyen en zonas donde la heterogeneidad ambiental y espacial es mayor. Adicionalmente se colectaron semillas de las especies. Estas semillas fueron sometidas a pruebas pregerminativas y de viabilidad. La prueba de viabilidad con cloruro de tetrazolio al 1 % para determinar el porcentaje de viabilidad. Las pruebas pregerminativas consistieron en escarificación mecánica fracturando la cubierta de la semilla (TST) y escarificación química, sumergiendo las semillas en ácido sulfúrico (H_2SO_4) y en nitrato de potasio (KNO_3). Además de un grupo al que se sumergieron en H_2O y un grupo control (CNL) al que no se le aplicó ningún tratamiento. Las semillas se sembraron en cajas de Petri con algodón humedecido. En cada caja se colocaron 20 semillas de las especies *A. americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. difformis*, *A. funkiana*, *A. heteracantha*, *A. mapisaga*, *A. mitis*, *A. salmiana* y *A. striata*. Los resultados fueron evaluados con un ANOVA estricto y la prueba de comparación de Tukey. Además, se calcularon el porcentaje de germinación (%) y el coeficiente de velocidad (CV). Los tratamientos más eficaces fueron TST y H_2O , mientras que los menos eficaces fueron los químicos H_2SO_4 y KNO_3 . Las especies de *Agave* son plantas de germinación rápida, en grandes cantidades y no necesitan algún tipo de tratamiento pregerminativo, estas características son útiles para ser susceptibles al manejo, tanto especies silvestres como cultivadas.

Palabras clave: registro fitogeográfico, escarificación mecánica, escarificación química.

SUMMARY

Querétaro is one of the states with a considerable diversity of *Agave* species in the Mexican territory. Within the state, Cadereyta has the first place in number of species due to its territorial extension and spatial heterogeneity. Agaves are plants with great importance due to their uses. Its cultural and biological importance makes the studies relevant to understanding knowledge about management and use. The objective of this work was to contribute to regional knowledge about the distribution and management of seeds of *Agave* species. A phytogeographic record was carried out based on data bases record and field collections. The presence of 20 species was found, distributed in nine types of vegetation, four types of climate, two types of soil and at altitudes of 1000 to 3000 m. Additionally, the species seeds were collected. These seeds were subjected to pregerminative and viability tests. The viability test with 1% tetrazolium chloride to determine the percentage of viability. The pregerminative tests consisted of mechanical scarification by fracturing the seed coat (TST) and chemical treatments by immersing the seeds in sulfuric acid (H_2SO_4) and potassium nitrate (KNO_3). In addition to a group that was immersed in H_2O with a control group (CNL) to which no treatment was applied. The seeds were sown in Petri dishes with moistened cotton. In each box, 20 seeds of the species *A. Americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. difformis*, *A. funkiana*, *A. heteracantha*, *A. mapisaga*, *A. mitis*, *A. salmiana* and *A. striata* were placed. The obtained results were evaluated with a strict ANOVA and Tukey's comparison test. In addition, the germination percentage (%) and the speed coefficient (CV) were calculated. The most effective treatments were TST and H_2O , while the least effective were the chemicals H_2SO_4 and KNO_3 . *Agave* species are plants that germinate quickly, in large quantities and do not need any type of pregerminative treatment. These characteristics are useful to be susceptible to management, both wild and cultivated species. with great potential for sexual reproduction due to their germination characteristics.

Keywords: phytogeographic record, mechanical scarification, chemical scarification.

A mi papá y a mi mamá.

AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT por el financiamiento para el presente trabajo como parte del proyecto PRONACES 319061 “Auge mezcalero y deudas de extinción: investigación interdisciplinaria”.

Al Dr. Luis G. Hernández Sandoval por brindarme la oportunidad de formar parte del proyecto, por su apoyo incondicional y paciencia durante la realización de esta tesis.

A la Dra. Rosalinda González Santos por su gran apoyo y acompañamiento en las salidas de campo y las colectas de magueyes.

A la Dra. Marcela Quiróz Sodi por el apoyo en campo.

A la Dra. Olga Lidia Gómez Nucamendi y la Dra. Mónica Queijeiro Bolaños por formar parte de mi comité de tesis.

Al personal del herbario QMEX por el apoyo y la paciencia durante el trabajo de herbario.

A mis padres y hermanas por su paciencia y apoyo durante mis estudios y en la tesis. A mis tíos Toño, Marce, Pini por siempre creer en mí y alentarme a seguir.

A mi amiga Joselyn, los antifashion, mis compañeros de universidad y todos los involucrados por regalarme el libro de agaves de Norteamérica.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. ANTECEDENTES	14
2. 1. El género <i>Agave</i>	14
2.2 Clasificación taxonómica	15
2.3 Distribución geográfica	15
2.4 Biología del género <i>Agave</i>	16
2.5 Etnobotánica e importancia del maguey	18
2.6 Propagación del género de <i>Agave</i>	20
2.7 Germinación de semillas de <i>Agave</i>	21
2.8 Métodos de evaluación de la germinación.....	21
2.9 Especies registradas en el Municipio de Cadereyta.....	22
3. HIPÓTESIS	24
4. OBJETIVOS.....	25
4.1 General	25
4.2 Particulares	25
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
5.1 Área de estudio	26
5.1.1 Fisiografía y geología	27
5.1.2 Climatología	29
5.1.3 Edafología.....	35
5.1.4 Tipos de vegetación y uso de suelo	37
5.2 Colectas.....	39
5.3 Caracterización de la distribución	41
5.4 Pruebas pregerminativas	42
5.4.1 Viabilidad	42
5.4.2 Pruebas pregerminativas	43
5.5 Análisis de datos.....	43
5.5.1 Mapas.....	43

5.5.2 Prueba de viabilidad	44
5.5.3 Métodos analíticos de germinación.....	44
5.5.4 Pruebas estadísticas.....	44
5.6 Consideraciones adicionales	44
5.6.1 Manejo de residuos.....	44
6. RESULTADOS.....	46
6.1 Caracterización de la distribución.....	46
6.2 Semillas de <i>Agave</i>	58
6.2.1 Prueba de viabilidad	58
6.3.1 Pruebas pregerminativas	60
6.3.1.1 Porcentaje de germinación.....	60
6.3.1.2 Especies de <i>Agave</i>	62
6.3.1.3 Coeficiente de velocidad	62
6.3.1.4 Especies de <i>Agave</i>	64
7. DISCUSIÓN	65
7.1 Distribución.....	65
7.2 Viabilidad de las semillas	67
7.3 Pruebas pregerminativas	68
7.3.1 Porcentaje de germinación.....	69
7.3.2 Coeficiente de velocidad	69
8. CONCLUSIÓN	71
9. BIBLIOGRAFIA.....	72
10. APÉNDICES	80
Apéndice 1. Descripción botánica de las especies de <i>Agave</i>	80
Apéndice 2. Porcentaje de germinación (%G) por especie.....	98
Apéndice 3. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación (%G)	110
Apéndice 4. Coeficiente de velocidad (CV) por especie.....	111

Índice de tablas

Tabla 1. Relevancia etnobotánica del género <i>Agave</i>	19
Tabla 2. Especies registradas para el municipio de Cadereyta.	23
Tabla 3. Listado de especies registradas para el municipio de Cadereyta de Montes con el número de registros. El asterisco indica especies sin identificar.	48
Tabla 4. Caracterización de la distribución de las especies de <i>Agave</i> . Tipos de vegetación: AT: agricultura de temporal, BE: bosque de encino, BP: bosque de pino, BPE: bosque de pino-encino, BJ: bosque de <i>Juniperus</i> , MC: matorral crasicaule, MR: matorral rosetófilo, MS: matorral submontano, P: pastizal. Clima: C(w): templado subhúmedo, BS1kw: semiseco templado, BS1hk: semiseco semicálido, BS0hw: seco semicálido. Provincias fisiográficas: FVT: faja volcánica transmexicana, SMOr: sierra madre oriental, AM: altiplano mexicano. Tipos de suelo: FEO: feozems, LEP: leptosoles.	54
Tabla 5. Datos del peso de semillas viables y vanas para las especies de <i>Agave</i> ..	58
Tabla 6. Porcentaje de germinación por tratamiento. CNL: grupo control, TST: testa.	62

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la zona de estudio.	27
Figura 2. Provincias fisiográficas dentro del municipio de Cadereyta de Montes.	29
Figura 3. Climas del municipio de Cadereyta de Montes.	31
Figura 4. Climograma del municipio de Cadereyta de Montes (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2017).	32
Figura 5. Precipitación media anual en el municipio de Cadereyta de Montes.	33
Figura 6. Región hidrológica dentro del municipio de Cadereyta de Montes.	34
Figura 7. Subcuencas, ríos y cuerpos de agua del municipio de Cadereyta de Montes.	35
Figura 8. Principales tipos de suelo presentes en la zona de estudio.	37
Figura 9. Tipos de vegetación.	39
Figura 10. Distribución actual de las especies <i>A. albomarginata</i> , <i>A. americana</i> , <i>A. applanata</i> , <i>A. asperrima</i> , <i>A. celsii</i> y <i>A. difformis</i>	49
Figura 11. Distribución de las especies <i>A. doctorensis</i> , <i>A. filifera</i> , <i>A. funkiana</i> , <i>A. garciae-mendozae</i> y <i>A. gentryi</i>	50
Figura 12. Distribución de las especies <i>A. heteracantha</i> , <i>A. lechuguilla</i> , <i>A. macroculmis</i> , <i>A. mapisaga</i> , <i>A. mitis</i> y <i>A. montana</i>	51
Figura 13. Distribución de <i>A. salmiana</i> , <i>A. striata</i> y <i>A. xylonacantha</i>	52
Figura 14. Caracterización de la distribución de las especies de <i>Agave</i>	53
Figura 15. Mapas de riqueza de especies por tipo de vegetación y clima del municipio de Cadereyta.	55
Figura 16. Mapas de riqueza de especies por provincias fisiográficas y rangos de precipitación.	56
Figura 17. Mapas de riqueza de especies por rangos altitudinales y tipos de suelo.	57
Figura 18. Viabilidad de las semillas. a) <i>A. americana</i> , b) <i>A. applanata</i> , c) <i>A. asperrima</i> , d) <i>A. difformis</i> , e) <i>A. funkiana</i> , f) <i>A. garciae-mendozae</i> , g) <i>A. heteracantha</i> , h) <i>A. mapisaga</i> , i) <i>A. mitis</i> , j) <i>A. salmiana</i> , k) <i>A. striata</i>	59
Figura 19. Porcentaje de viabilidad de las semillas.	60
Figura 20. Porcentaje de germinación (%G) para cada tratamiento en contraste con cada sitio.	61
Figura 21. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación (%G).	61

Figura 22. Valores del coeficiente de velocidad (CV) para cada tratamiento en contraste con cada sitio.....	63
Figura 23. Prueba de Tukey para el coeficiente de velocidad (CV).....	63
Figura 24. Velocidad de la germinación por tratamiento respecto al tiempo.	64
Figura 25. Inflorescencia colectada de <i>Agave striata</i> para análisis germinativos. a) Crecimiento normal. b) Crecimiento anormal.	68
Figura 26. <i>Agave filifera</i>	80
Figura 27. <i>Agave albomarginata</i>	81
Figura 28. <i>Agave difformis</i>	82
Figura 29. <i>Agave doctorensis</i>	83
Figura 30. <i>Agave garciae-mendozae</i>	84
Figura 31. <i>Agave heteracantha</i>	85
Figura 32. <i>Agave xylonacantha</i>	87
Figura 33. <i>Agave celsii</i>	88
Figura 34. <i>Agave mitis</i>	89
Figura 35. <i>Agave striata</i>	90
Figura 36. <i>Agave americana</i>	91
Figura 37. <i>Agave asperrima</i>	92
Figura 38. <i>Agave applanata</i>	93
Figura 39. <i>Agave gentryi</i>	94
Figura 40. <i>Agave mapisaga</i>	96
Figura 41. <i>Agave montana</i>	97
Figura 42. <i>Agave salmiana</i>	98
Figura 43. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. americana</i>	99
Figura 44. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. applanata</i>	100
Figura 45. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. asperrima</i>	101
Figura 46. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. difformis</i>	102
Figura 47. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. funkiana</i>	103
Figura 48. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. garciae-mendozae</i>	104
Figura 49. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. heteracantha</i>	105
Figura 50. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. mapisaga</i>	106
Figura 51. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. mitis</i>	107

Figura 52. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. salmiana</i>	108
Figura 53. Germinación acumulada de semillas para la especie <i>A. striata</i>	109
Figura 54. Prueba de tukey para los sitios y tratamientos.	110
Figura 55. Coeficiente de velocidad para la germinación de semilla con respecto al tiempo para <i>A. americana</i>	111
Figura 56. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. applanata</i>	112
Figura 57. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. asperrima</i>	113
Figura 58. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. difformis</i>	114
Figura 59. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. funkiana</i>	115
Figura 60. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. garciae-mendozae</i>	116
Figura 61. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. heteracantha</i>	117
Figura 62. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. mapisaga</i>	118
Figura 63. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. mitis</i>	119
Figura 64. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. salmiana</i>	120
Figura 65. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para <i>A. striata</i>	121

1. INTRODUCCIÓN

El estado de Querétaro posee una considerable diversidad de especies del género *Agave*. Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval, (2000) registraron 26 especies para la entidad, pero es probable que se encuentren más. Dentro del estado, el municipio con mayor número de especies es Cadereyta de Montes, con 19 especies. Son plantas adaptadas a condiciones de aridez, presentan raíces ramificadas y someras, poseen hojas suculentas con cutículas gruesas, tienen estomas hundidos y son perennes monocárpicas, además de realizar metabolismo fotosintético CAM (Thiede, 2020). Dado que el municipio de Cadereyta se encuentra en una zona de amplia heterogeneidad ambiental y topográfica, no es de extrañarse que el municipio tenga el mayor número de especies en el género. A pesar de ello, no hay estudios regionales acerca de la distribución del género, ni una lista actualizada de la cantidad de especies registradas. Actualmente solo existen a nivel estatal y de la familia Asparagaceae (García-Mendoza, 2002; Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval, 2000; Thiede, 2020). Por lo que, en este estudio se plantea fundamentar el conocimiento de la distribución de las especies del género *Agave* por medio de mapas a partir de registros en herbarios nacionales y plataformas digitales de información de la biodiversidad.

Varias especies de *Agave* han sido aprovechadas por el humano ya sea para alimento, cercos vivos, la producción de fibras vegetales y bebidas como el tequila, el pulque y el mezcal. Esta última actividad considerada la más importante asociada a los cultivos de *Agave*, reconociendo a estas especies como un recurso económico importante en el país (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020).

Los magueyes pueden reproducirse asexual y sexualmente. Actualmente la propagación de estas especies se ha dado de manera asexual por medio de la separación de hijuelos y bulbilos (Rendón-Garcini, 1999). La reproducción asexual favorece el establecimiento exitoso de la planta sin embargo, estas prácticas generan homogeneidad y conduce a que sean más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, además de bajar la viabilidad genética y produce endogamia en las especies (Thiede, 2020).

Para evitar estos problemas la alternativa es reproducirlas a través de la semilla porque fomenta la variabilidad genética, asegura una mejor resistencia ante las

plagas, enfermedades y factores medioambientales. Diversas investigaciones señalan que las semillas son viables y carentes de periodos largos de dormancia por lo que son especies ideales para la propagación por semilla (Peña-Valdivia *et al.*, 2006; Ramírez-Tobías *et al.*, 2011; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012; Thiede, 2020).

Aunque son escasos los estudios sobre análisis de pruebas pregerminativas en semillas de especies del género *Agave* estos estudios pueden ayudar a aumentar las posibilidades de propagar sexualmente a estas plantas. Las especies de *Agave* se caracterizan por producir muchas semillas en su ciclo de vida, sin embargo, el éxito de supervivencia se ve muy reducido en la naturaleza. Este campo es importante ya que este género de plantas representa una amplia variedad de usos y, por lo tanto, es necesario un manejo integral de las especies tomando en cuenta características propias de las especies para evitar poner en riesgo a las poblaciones.

2. ANTECEDENTES

2. 1. El género *Agave*

Incluye alrededor de 265 especies (más híbridos naturales y artificiales), distribuidos desde el este de Estados Unidos, Mesoamérica y el Caribe hasta Sudamérica (Colombia y Venezuela) la mayor parte de estas especies se encuentran en México, con cerca de 186 especies (Thiede, 2020; García-Mendoza, 2002; Vázquez-García *et al.*, 2010). Son plantas perennes xerófilas con hojas arregladas en rosetas en su mayoría suculentas, duras y fibrosas, mono o policárpicas, terrestres, dispuestas en el ápice de un tallo o acaulescentes, en su mayoría gruesos, solitarios o ramificados. De muy pequeñas a muy grandes. Las hojas varían en formas; de linear a lanceolada u ovada, usualmente rica en sapogeninas esteroidales. Los márgenes de las hojas pueden ser enteros, diminutos a fuertemente dentados o filíferos. Generalmente tienen una espina al final del ápice. De inflorescencias paniculadas pequeñas o hasta de 12 m de altura (inflorescencia completa, es decir, pedúnculo y parte florífera), cimosa ya sea de tallo corto y en su mayoría pocas flores (Subgen. *Littaea*) o de tallo largo, a menudo compuestas varias veces, con muchas flores densamente dispuestas (Subgen. *Agave*). Inflorescencia a veces bulbilífera, en especies domesticadas la bráctea pedicular es similar a las hojas en roseta, disminuyendo de tamaño hacia arriba del pedúnculo. Flores diurnas y/o nocturnas, actinomorfas o ligeramente zigomorfas, casi siempre ponterándricas, generalmente de color amarillo o verdoso a parduzco, más raramente rojizo, blanco o rosado. Los tépalos generalmente fusionados y formando un tubo de periantio, de longitud muy variable al igual que los lóbulos. Filamento generalmente filiforme, normalmente largo, raramente corto. Insertado en el tubo o en la boca del tubo o en la base del tépalo. Anteras versátiles, oblongas, polen liberado en mónadas, sulcado o rara vez bisulcado. Ovario ínfero, de paredes gruesas, de tres lóbulos, con numerosos óvulos axilares en dos filas por lóculo, a menudo constreñidos arriba de un cuello conspicuo, néctar septal presente; estilo alargado, filiforme, tubular, aun no completamente expandido en la antesis, 3-lobulado, papilado-glandular. El fruto con capsulas loculicidas dehiscentes, apicalmente a menudo estrechamente alargadas, de aplanado y de color negro (Rzedowski & Rzedowski, 2010; Thiede, 2020).

2.2 Clasificación taxonómica

El género *Agave* se divide en tres subgéneros: *Littaea*, *Agave* y *Manfreda*.

Subgénero *Littaea*: Inflorescencia en forma espigada, flores espigadas en pares o racimos. Está dividido en los grupos: *Juncineae*, *Inermes*, *Choritepalae*, *Littaea*, *Parviflorae*, *Micracanthae*, *Heteracanthae*, *Urceolatae* (Thiede, 2020).

Subgénero *Agave*: Inflorescencia con pedúnculo largo en umbela, a menudo varias veces compuesto con muchas flores densamente dispuestas.

Está dividido en los grupos: *Agave*, *Salmianae*, *Sisalanae*, *Crenatae*, *Campaniflorae*, *Umbelliflorae*, *Rigidae*, *Ditepalae*, *Deserticolae*, *Conicae*, *Intermediae*, *Parryanae*, *Hibernicae*, *Marmoratae*, *Guatemalenses*, *Antillanae*, *Antillares*, *Bahamanae*, *Caribaeae*, *Inaguenses*, *Viviparae*, *Columbianae* (Thiede, 2020).

Subgénero *Manfreda*: Rizomas erguidos, carnosos, con cormo basal y bulbo apical; hojas cartácea a carnosa, verde por una temporada o un poco más, terminando en un punto blando, márgenes a menudo hialinos, enteros, denticulados a papilados o con dientes blandos; inflorescencia en 'racimos' o 'espigas' con la flor solitaria o emparejada en los nodos. Está dividido en los grupos: *Herbaceae*, *Brunneae*, *Scabraea*, *Guttatae*, *Virginicae*, *Yucatanae*, *Polianthes*, *Bravoa* (Thiede, 2020).

2.3 Distribución geográfica

El área de distribución natural del género *Agave* va desde el este y sur de Estados Unidos, a lo largo de México y el Caribe hasta el norte de Sudamérica (Colombia y Venezuela). La mayor riqueza de especies se localiza en la región del valle de Tehuacán-Cuicatlán mientras que las concentraciones adicionales se encuentran a lo largo de las montañas de México: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur. La mayoría de las especies se encuentran en altitudes entre 500-2500 msnm en bosques de matorral desértico/chaparral y pino-encino (García-Mendoza, 1995; García-Mendoza 2002).

México es el centro de origen y especiación del género. Se han documentado los estados de la república con mayor diversidad de especies, donde Oaxaca ocupa el primer lugar con 37 especies, Puebla con 31, Sonora con 30 y Querétaro con 26

especies (Vázquez-García *et al.*, 2010). Considerando el tamaño del territorio, Querétaro se posiciona como uno de los estados con mayor proporción de especies por área en el país (Vázquez-García *et al.*, 2010). Dentro del estado, el municipio de Cadereyta de Montes es el más rico en especies, con cerca de 17 especies de acuerdo con los estudios de Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000) y Thiede (2020).

2.4 Biología del género *Agave*

Adaptaciones: Las plantas de este género se caracterizan por la adaptación a vivir en sitios con condiciones climáticas desfavorables donde otros grupos de plantas difícilmente podrían establecerse, con periodos de sequía y altas temperaturas; especialmente en el suelo, con fluctuaciones en la temperatura entre el día y la noche (García-Mendoza, 2007; Ruiz-García, 2014). Algunas de estas adaptaciones son sus hojas duras, rígidas y muy fibrosas con un tejido central de almacenamiento de agua parenquimatoso bien desarrollado. Este tejido no está diferenciado o se diferencia en células empalizadas y con un mesófilo esponjoso que frecuentemente contiene grupos de células alargadas para el almacenamiento de agua. Aunado a lo anterior, presentan rizomas engrosados o un tronco bien desarrollado con un meristemo engrosado secundario. Poseen metabolismo CAM. En este tipo de metabolismo, las raíces cerca del tallo y a poca profundidad de suelo juegan un papel importante en la absorción rápida de agua después de la lluvia. Esta absorción rápida ocurre cerca del tallo y en las partes distales del sistema radicular (Heyduk *et al.*, 2016; North & Baker, 2007; North *et al.*, 2008).

Ciclo de vida: La fase vegetativa puede durar de seis a 55 años, durante los cuales se acumula agua y carbohidratos en los tallos y hojas. Más de la mitad de la energía y agua almacenada por la planta se desvía hacia el desarrollo de la inflorescencia. Algunas especies se describen como policárpicas o con inflorescencias laterales, pero tales inflorescencias probablemente estén en una posición terminal en rosetas laterales rudimentarias subdesarrolladas (Gentry, 1982; Slauson, 2002).

Polinización: Para el subgénero *Agave* el polen es abundante y posee un alto contenido de proteínas mientras que el néctar contiene bajas concentraciones de azúcar, se produce principalmente por la noche y a menudo con olor a fruta madura,

principalmente la quiropterofilia (adaptación a la polinización por murciélagos). Sin embargo, estudios recientes mostraron que muchas especies exhiben una gama más amplia de visitantes florales como pájaros, abejas y polillas (Arizaga *et al.*, 2000; Gentry, 1982; Rocha *et al.*, 2006; Trejo-Salazar, 2015).

En el subgénero *Littaea* el néctar es menos abundante, pero con mayor concentración de azúcares, colores florales más atractivos y un olor dulce, por lo que se asocian con un síndrome de polinización por insectos. Las abejas son los polinizadores más comunes e importantes, aunque también los murciélagos, colibríes y polillas son visitantes. En el subgénero *Manfreda* Se ha documentado que las polillas nocturnas son el principal polinizador, en segundo lugar, murciélagos de nariz larga, otros murciélagos y en menor medida insectos y colibríes (Arizaga *et al.*, 2000; Rocha *et al.*, 2006; Slauson, 2002).

Floración y fructificación: La mayoría de las especies del género son proterándricos: durante la fase masculina, en los primeros días, las anteras se abren y arrojan polen. Durante la fase femenina que ocurre en los últimos días el estilo se alarga, el estigma se abre y se produce néctar principalmente durante la noche. La mayoría de las especies son autoincompatibles (exogámicas) y solo unas pocas autocompatibles como *A. garciae-mendozae* (Silva-Montellano *et al.*, 2003; Slauson, 2002).

La semilla en Agave: se caracterizan por ser de forma semicircular, lunulares a lacrimiformes (en forma de lágrima), planas con un ala corta en su porción convexa, de color negro brillante a opaco. Dentro de miembros de la misma especie se ha documentado la heterogeneidad en el tamaño. Gentry (1982) y Rzedowski (2005) indicaron que la semilla de *A. salmiana* tiene dimensiones de 8 a 9 mm de longitud y anchura de 5 a 7 mm. Se ha observado que son viables y permeables, sin periodos largos de dormancia y de germinación rápida y uniforme por lo que están adaptadas a la absorción de agua durante eventos de lluvia (Peña-Valdivia *et al.*, 2006).

Dispersión y establecimiento de semillas: La dispersión por el viento parece ser el principal mecanismo de dispersión. La duración del primer periodo de sequía es el factor limitante para el establecimiento, siendo el estrés hídrico en la plántula el factor más importante. Las plántulas más exitosas se asocian con plantas nodrizas

protectoras (Nobel, 1992; Ramírez–Tobías *et al.*, 2012; Ramírez–Tobías *et al.*, 2016).

2.5 Etnobotánica e importancia del maguey

El género *Agave* tiene una amplia importancia etnobotánica debido a sus múltiples usos. Hay evidencia de consumo por humanos hace al menos 9,000 años y elaboración de artefactos de su fibra y herramientas que datan al menos 11,000 años (García-Mendoza, 2007). El cultivo de *Agave* comenzó hace al menos 6,000 años (Gentry, 1982). Los usos del maguey van desde la recolección de poblaciones silvestres o su manejo hasta el cultivo en el hogar o a nivel de plantación. Hay algunas especies que han sido domesticadas. El síndrome de domesticación incluye gigantismo en hojas y rosetas, mayor fibrosidad o mayor contenido de azúcar, espinosidad menos pronunciada y capacidad reproductiva sexual reducida (a menudo incluso esterilidad) (Colunga-García *et al.*, 1996; Ramírez–Tobías *et al.*, 2011). En la Tabla 1 se enlistan los usos del género *Agave* que han sido registrados.

2.6 Propagación del género de *Agave*

La propagación de las especies del género *Agave* se da de forma sexual y asexual, en estos tipos de reproducción se da origen a nuevos individuos. La reproducción sexual se da por medio de la semilla y la asexual en forma de meristemas (Thiede, 2020).

La propagación de algunas especies de *Agave* se lleva a cabo por la separación de hijuelos, lo que puede llevar a la reducción de la variabilidad genética y evitar que las poblaciones respondan a cambios ambientales, a través de la adaptación y diversificación (Cárdenas-Arrazola & Robledo-Paz., 2019). Este tipo de reproducción asexual asegura una mayor cantidad de individuos ya que la disponibilidad de humedad y la temperatura son factores importantes en la reproducción por semilla, contrario a la reproducción asexual, utilizada a grande escala debido a que mantiene la homogeneidad de las plantaciones (Rodríguez, 2000).

La reproducción sexual se da a través de las semillas en donde la polinización tiene un papel fundamental debido a que las semillas son el resultado de la fecundación. En las especies del género *Agave*, se alcanza una maduración sexual a partir de los diez hasta los 50 años (Gentry, 1982). Aun cuando las plantas producen una gran cantidad de semillas, distintos factores ambientales como las condiciones de aridez y la falta de agua son factores importantes que indican que cerca del 1% de las semillas liberadas alcanza su madurez en el medio natural (Nobel, 1996).

La germinación es una fase importante para el desarrollo de las plantas, de esta depende la supervivencia, la distribución y abundancia de las especies. El proceso de germinación inicia cuando la semilla se empieza a hidratar y termina cuando rompe la cubierta de la semilla. Para que este proceso se lleve a cabo es necesario que haya condiciones favorables, las cuales pueden ser esporádicas en los ambientes extremos y van a depender de la disponibilidad de humedad en el suelo y las temperaturas (Rodríguez, 2000). La calidad genética, fisiológica, física y sanitaria de una planta se obtiene a partir de la reproducción con semilla (García-López *et al.*, 2015). Los individuos originados de semilla son importantes porque son necesarios para mantener la estructura y dinámica de las poblaciones (Ramírez-Tobías *et al.*, 2011).

2.7 Germinación de semillas de *Agave*

En el medio natural, las semillas permanecen latentes hasta que las condiciones ambientales sean adecuadas para germinar y el mantenimiento de las plántulas. Los patrones en la germinación de las especies en cada región dependen de las características morfofisiológicas y bioquímicas de las semillas que responden a factores ambientales, tales como la humedad, la temperatura, la luz y la disponibilidad de oxígeno. La respuesta de germinación puede deberse a un solo factor o a la combinación de dos o más de estos factores (Peña-Valdivia *et al.*, 2006).

Las semillas germinan tanto en condiciones de luz como de oscuridad. Una temperatura de germinación de 30°C produce una emergencia óptima de plántulas para *A. tequilana* y *A. mapisaga* (Ramírez-Tobías *et al.*, 2016), mientras que se encontraron temperaturas óptimas de germinación de 25°C para otras ocho especies mexicanas (Ramírez-Tobías *et al.*, 2011; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2006). A lo largo del tiempo, se han implementado distintos tratamientos previos a la germinación. Estos tratamientos pregerminativos son un grupo de actividades que permiten facilitar y aumentar la germinación de las semillas (Sobrevilla-Solis *et al.*, 2013). La escarificación es un tipo de tratamiento pregerminativo cuyo fin es ablandar, rasgar, perforar o abrir la cubierta de la semilla para hacerla permeable sin dañar al endospermo. Existen distintos tratamientos: la escarificación mecánica, la escarificación química y la escarificación térmica (Sobrevilla-Solis *et al.*, 2013).

La escarificación mecánica se ha empleado mediante la fricción o corte de la testa con papel lija o navajas en distintas especies. Mientras que los métodos de escarificación químicos consisten en la inmersión de las semillas por un periodo de tiempo determinado, a sustancias corrosivas que simulan la acción abrasiva de tracto digestivo de un animal, entre ellas el ácido sulfúrico o ácido clorhídrico (Sánchez-Soto *et al.*, 2017).

2.8 Métodos de evaluación de la germinación

Para la evaluación de la viabilidad se pueden emplear métodos como medir la germinación, inspección directa del embrión clasificando de acuerdo con la rigidez o

la prueba bioquímica de Tetrazolio. Las pruebas tienen ventajas y desventajas; la inspección de semillas puede tomar mucho tiempo o ser ambigua por no ser considerada una prueba estandarizada. La prueba bioquímica de viabilidad con tetrazolio es un método bioquímico utilizado para evaluar la viabilidad en la semilla, que es la capacidad que tiene la semilla para germinar. El objetivo es realizar una estimación rápida de viabilidad evaluando con base en patrones de tinción y permite identificar actividad enzimática en tejidos (Labrada, 2005).

Los métodos de análisis se pueden diferenciar en dos tipos: descriptivos y analíticos. Entre los métodos descriptivos se encuentra la capacidad de germinación en donde se representa en una gráfica el número final de semillas germinadas en cada tratamiento. La germinación diaria muestra el número de semillas que germinan en cada día. Por último, la germinación acumulada por intervalos de tiempo en donde se muestra la máxima capacidad de germinación y el tiempo en el que se alcanza (González-Zertuche & Orozco-Segovia, 1996).

Los métodos analíticos se componen de fórmulas en las que se relaciona los diferentes parámetros en la germinación. Tomando en cuenta el tiempo, porcentaje y la velocidad. El coeficiente de velocidad es uno de los índices más utilizados y se basa en el número de semillas germinadas inversamente relacionado con el tiempo y el número de semillas germinadas por día (González-Zertuche & Orozco-Segovia, 1996).

2.9 Especies registradas en el Municipio de Cadereyta

En la Tabla 2 se muestra una recopilación de las especies registradas para el municipio. En el Apéndice 1 se incluyen las descripciones botánicas para cada una de las especies que se registraron en estudios previos.

Subgénero	Grupo	Especie	Condición	Registros	
Agave	Agave	<i>A. americana</i>	Cultivada/Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
		<i>A. asperrima</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
	Ditepalae	<i>A. applanata</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
	Salmianae	<i>A. gentryi</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
		<i>A. mapisaga</i>	Cultivada/Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
		<i>A. montana</i>	Silvestre	Thiede (2020)	
			<i>A. salmiana</i>	Cultivada/Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)
Littaea	Heteracanthae	<i>A. albomarginata</i>	Silvestre	Thiede (2020)	
		<i>A. difformis</i>	Silvestre	Thiede (2020)	
		<i>A. doctorensis</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
		<i>A. funkiana</i>	Silvestre	Thiede (2020)	
		<i>A. garciae-mendozae</i>	Silvestre	Thiede (2020)	
		<i>A. heteracantha</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
		<i>A. lechuguilla</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
			<i>A. xylonacantha</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)
	Juncinae	<i>A. striata</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
	Littaea	<i>A. filifera</i>	Silvestre	Thiede (2020)	
	Micracanthae	<i>A. celsii</i>	Silvestre	Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000); Thiede (2020)	
		<i>A. mitis</i>	Silvestre	Thiede (2020)	

Tabla 2. Especies registradas para el municipio de Cadereyta.

3. HIPÓTESIS

Los estudios más recientes acerca de la distribución del género *Agave* para el municipio de Cadereyta registran aproximadamente 17 especies. Dada la extensión territorial y la heterogeneidad espacial que existe en el municipio de Cadereyta además de que no hay estudios como tal de la región acerca de las especies de *Agave* y su distribución, esta cifra aumentará.

Las semillas de *Agave* poseen altos porcentajes de viabilidad, pero depende del manejo que se le dé a la planta. Puesto que en especies utilizadas en la industria han presentado problemas de reproducción debido al manejo intensivo.

Por otra parte, el tratamiento pregerminativo más eficaz en las semillas de las especies del género *Agave* será el tratamiento químico con peróxido de hidrogeno (KNO_3). Además de que las semillas de *Agave* germinan mejor y más rápido en condiciones controladas.

4. OBJETIVOS

4.1 General

- Fundamentar el conocimiento de la distribución y el manejo de las semillas de las especies del género *Agave* en el municipio de Cadereyta de Montes.

4.2 Particulares

- Registrar la distribución de las especies de *Agave* en el municipio de Cadereyta de Montes.
- Relacionar la distribución de las especies en el municipio con los tipos de vegetación, climas, suelos, el relieve y la altitud.
- Determinar la proporción de semillas viables y no viables en al menos cinco especies del género *Agave* distribuidas dentro del municipio de Cadereyta de Montes.
- Conocer la eficacia de las pruebas pregerminativas de escarificación química y mecánica en semillas de distintas especies de *Agave* que se distribuyen dentro del municipio de Cadereyta de Montes.
- Comparar el porcentaje y velocidad de la germinación en condiciones de laboratorio, cámara germinativa y sombreadero (malla sombra).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

Cadereyta de Montes se localiza al noreste del estado de Querétaro en los 20° 34' y 21° 03' de latitud norte y entre los 99° 23' y 99° 53' de longitud oeste. Tiene una superficie de 1,131 km² (Figura 1). El municipio colinda al norte con los municipios de Peñamiller, Pinal de Amoles y San Joaquín; al oeste con Tolimán y al sureste con Ezequiel Montes. También colinda con tres municipios del estado de Hidalgo: Pácula y Zimapán al este y Tecozautla al sur. El territorio está organizado en nueve delegaciones municipales: Bella Vista del Río, Boyé, El Doctor, Higuierillas, La esperanza, El Palmar, Maconí, Pathé y Vizarrón (Secretaría de Desarrollo Sustentable., 2017).

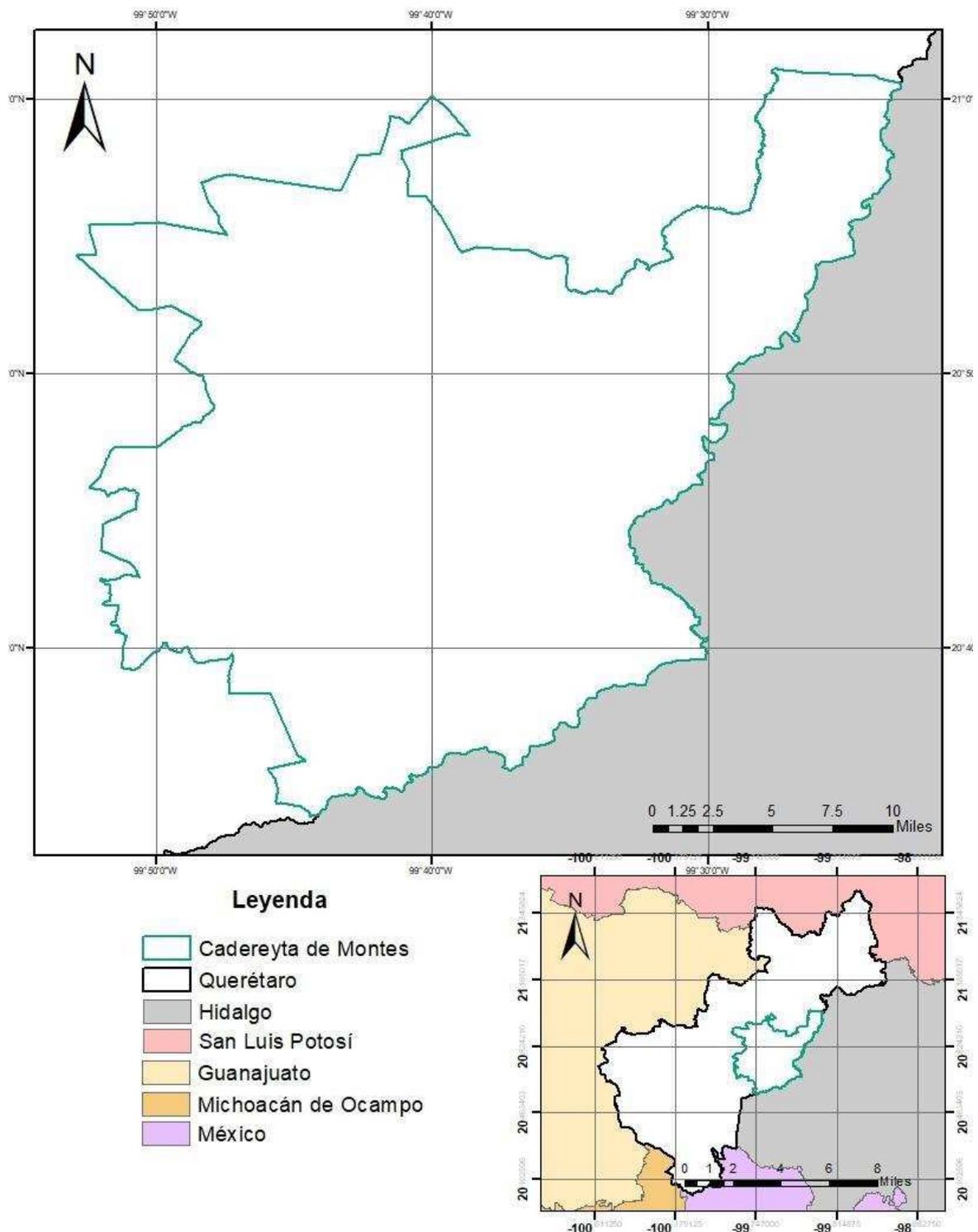


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

5.1.1 Fisiografía y geología

El territorio de Cadereyta de Montes se ubica dentro de tres provincias fisiográficas (Figura 2): 1) Altiplano Mexicano con el 16% (21,833.94 ha). Se caracteriza por ser

una región elevada constituida por amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, en una serie de valles paralelos orientados al sudeste. Presenta una altitud promedio de 1900 a 2300 m (INEGI, 2018; Secretaría de Desarrollo Sustentable., 2017; Morrone, 2019). 2) Sierra Madre Oriental con 40% (52,513 ha) del territorio (Secretaría de Desarrollo Sustentable., 2017). Zona que está constituida por rocas sedimentarias de origen marino, calizas y lutitas principalmente de la era mesozoica, en donde las cumbres oscilan entre los 2,000 y 3,000 m de altitud (INEGI, 2018; Morrone, 2019). 3) Faja Volcánica Transmexicana con 44% (58,440.72 ha) (Secretaría de Desarrollo Sustentable., 2017). Se caracteriza por tener la mayor variación de relieve y de tipos de rocas. Se considera como una enorme masa de rocas volcánicas, derrames de lava y otras manifestaciones ígneas de la era Cenozoica (INEGI, 2018; Morrone, 2019).

El territorio posee una gran diversidad orográfica, lo que resulta en un terreno bastante accidentado y de procesos geológicos extremos. Dentro de los límites municipales se encuentran seis de las 15 elevaciones más importantes del estado de Querétaro. Estos son: Cerro El Espolón con 3243 m de altitud, Cerro La Laja con 3130 m, Cerro Las Vigas con 3127 m, Cerro el Pulpito con 2760 m, Cerro El Gallo con 2747 m y la Sierra de La Peña Azul con 2680 m de altitud (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2017).

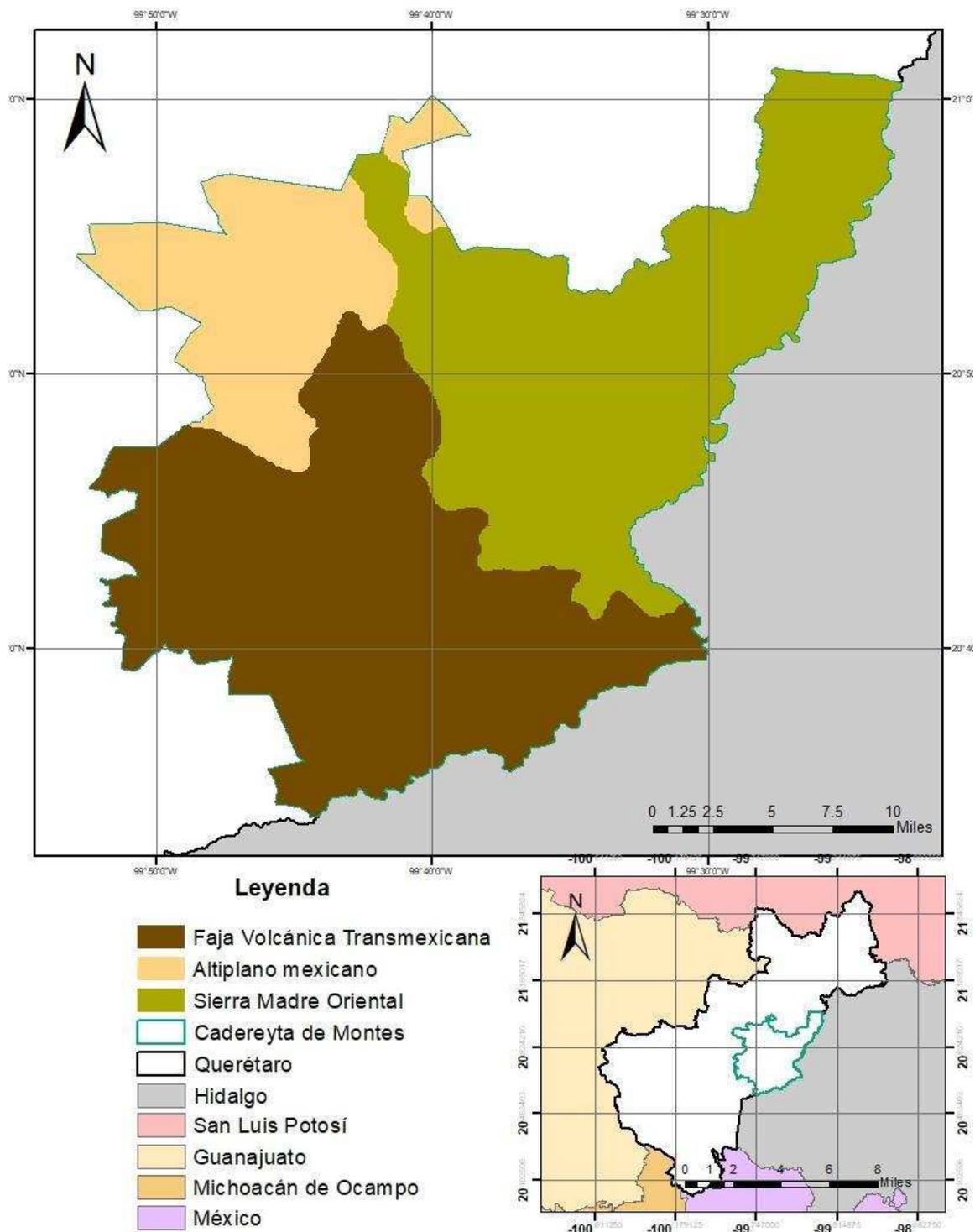


Figura 2. Provincias fisiográficas dentro del municipio de Cadereyta de Montes.

5.1.2 Climatología

El territorio municipal se encuentra dentro del área de influencia de dos grandes unidades de clima (Figura 3) que son seco: el clima predominante del municipio (71.83%) en la zona sur; incluye tres tipos seco semicálido, semiseco semicálido y

semiseco templado y templado subhúmedo: que se encuentra en el noreste y representa el 28.17% del territorio (Secretaría de Desarrollo Sustentable., 2017).

Temperatura y precipitación: La temperatura promedio anual es de 17.53°C y la mínima es de 9.4°C. El mes de mayo registra los niveles más altos de temperatura mientras que enero los mínimos. El promedio de lluvia anual es de 483 mm, siendo los meses de junio, julio y septiembre los que presentan los mayores registros de precipitación con 1000 mm de lluvia mientras que el mes de diciembre es el más seco con 72 mm de lluvia (Figura 4, Figura 5) (Secretaría de Desarrollo Sustentable., 2017).

Hidrología e hidrografía: Cadereyta se ubica en la región hidrológica Pánuco No. 26 (Figura 6). Pertenece a la cuenca del Río Moctezuma y a las subcuencas de los ríos Moctezuma, Extóraz y San Juan. Sus principales afluentes son los ríos Extóraz y Moctezuma con 78.82 km. Un total de 35 microcuencas se encuentran dentro del municipio, de las cuales las más importantes son: Vizarrón, Cadereyta, Higuierillas, Pathé, Cerro Prieto, Bellavista del Río, Maconí, Sombrerete, El aguacate, Las adjuntas, La Tinaja, Los Juárez, Corral Blanco y Puerto de la luz. Cadereyta forma parte de tres acuíferos: el valle de Cadereyta, Valle de Tequisquiapan Tolimán y Moctezuma (INEGI, 2018; Secretaría de Desarrollo Sustentable., 2017). Por otra parte, la red hidrográfica de Cadereyta pertenece a la vertiente del golfo del Norte la cual se relaciona con la subcuenta del Río San Juan (Figura 7). El territorio posee 125 cuerpos de agua que incluye presas, bordos y manantiales.

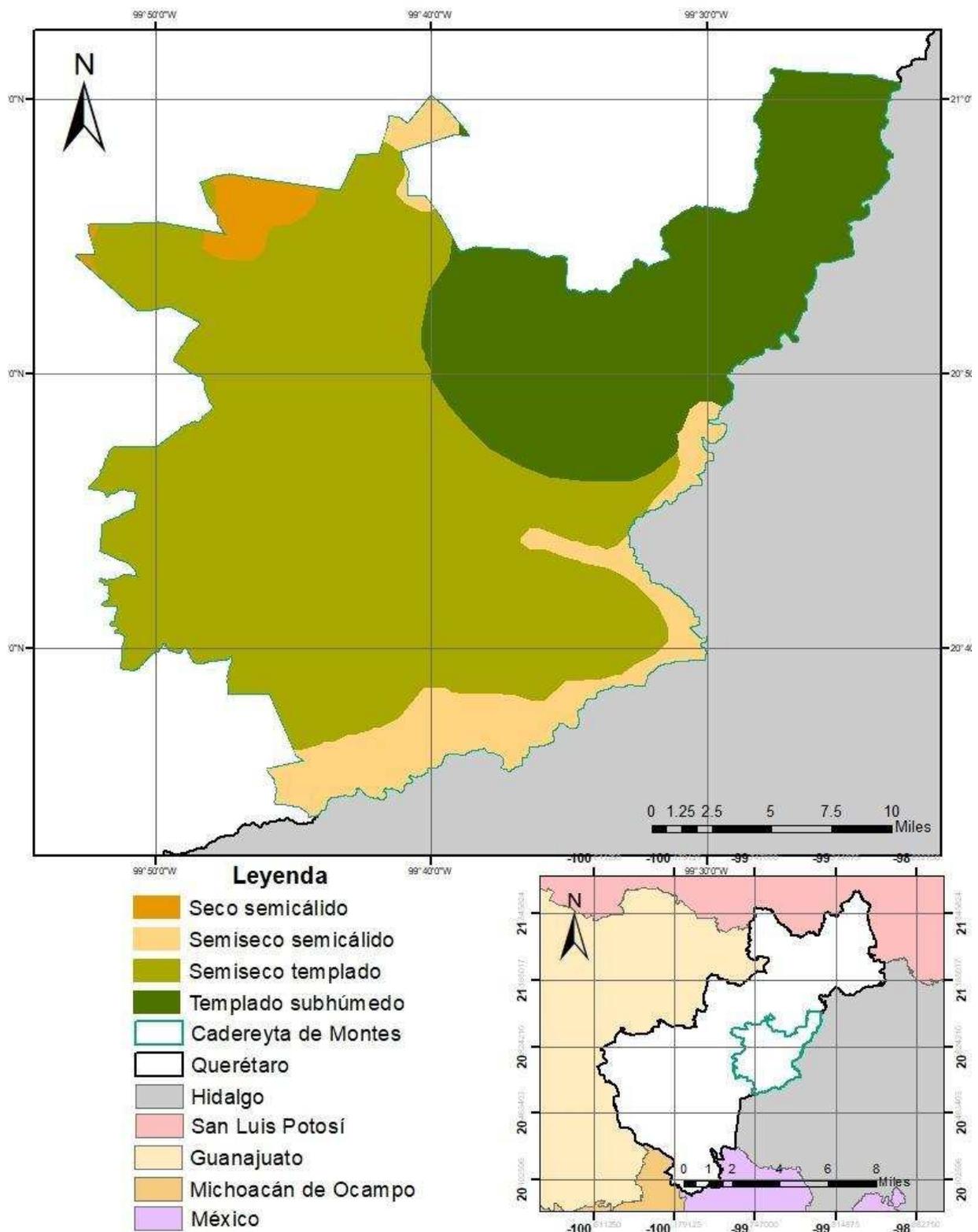


Figura 3. Climas del municipio de Cadereyta de Montes.

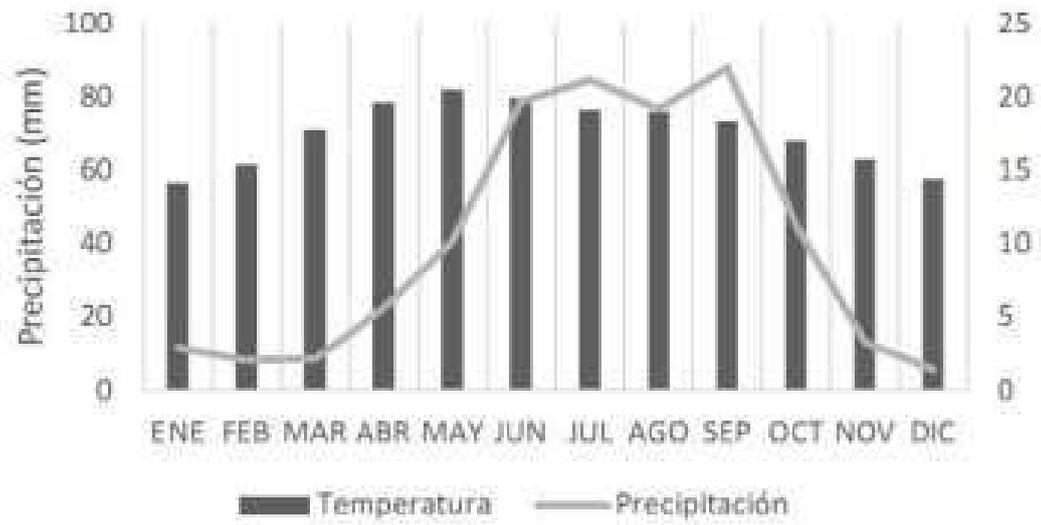


Figura 4. Climograma del municipio de Cadereyta de Montes (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2017).

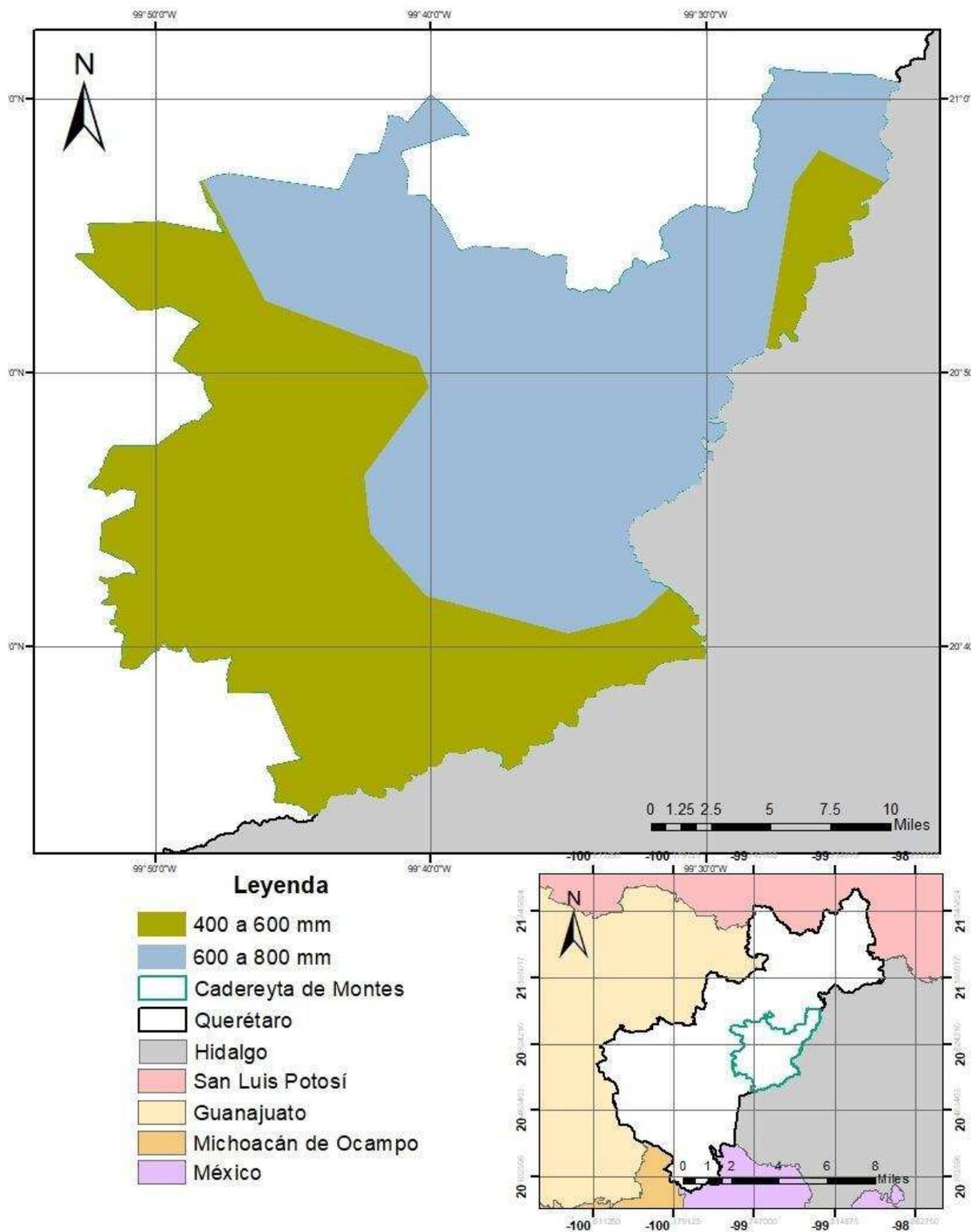


Figura 5. Precipitación media anual en el municipio de Cadereyta de Montes.

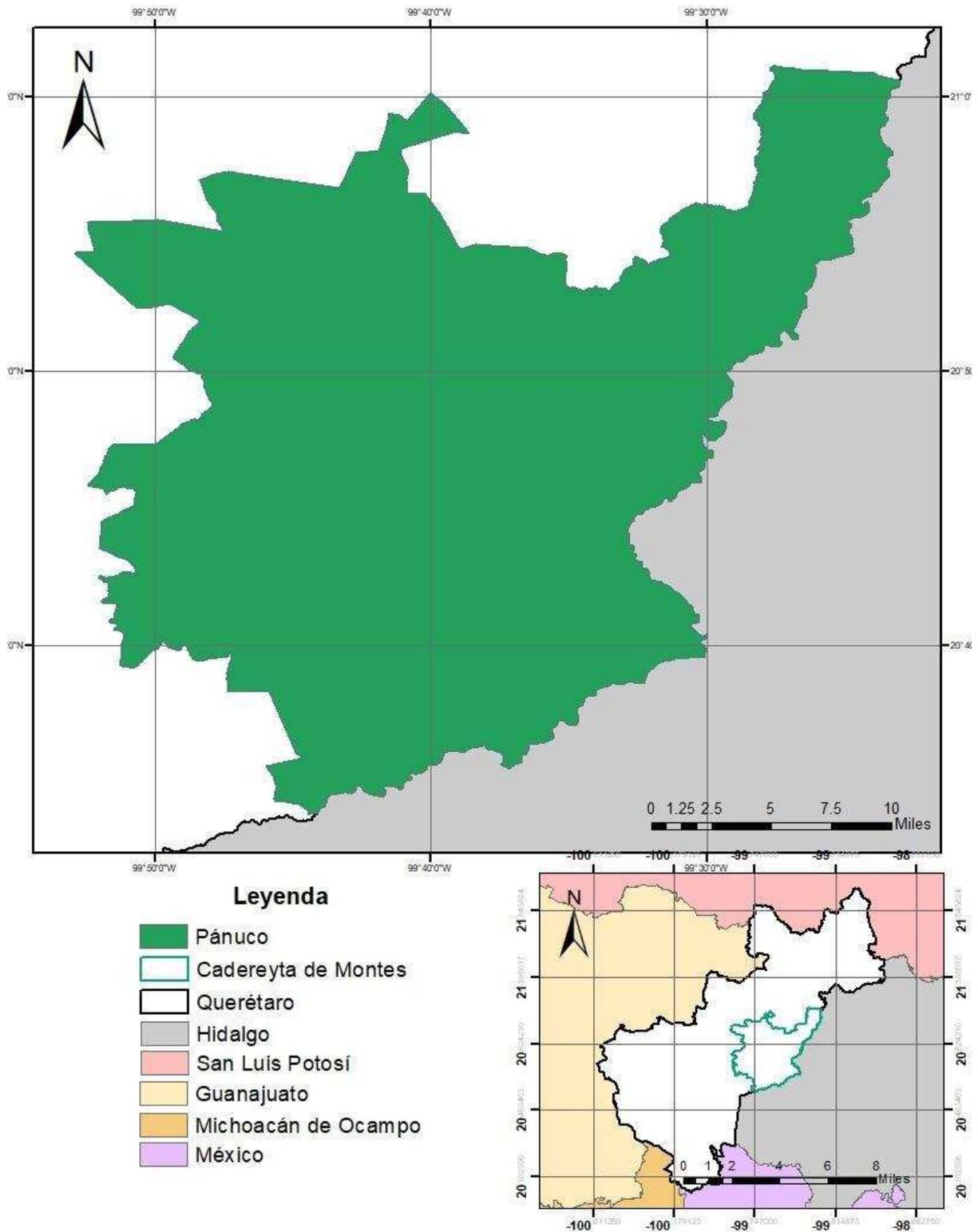


Figura 6. Región hidrológica dentro del municipio de Cadereyta de Montes.

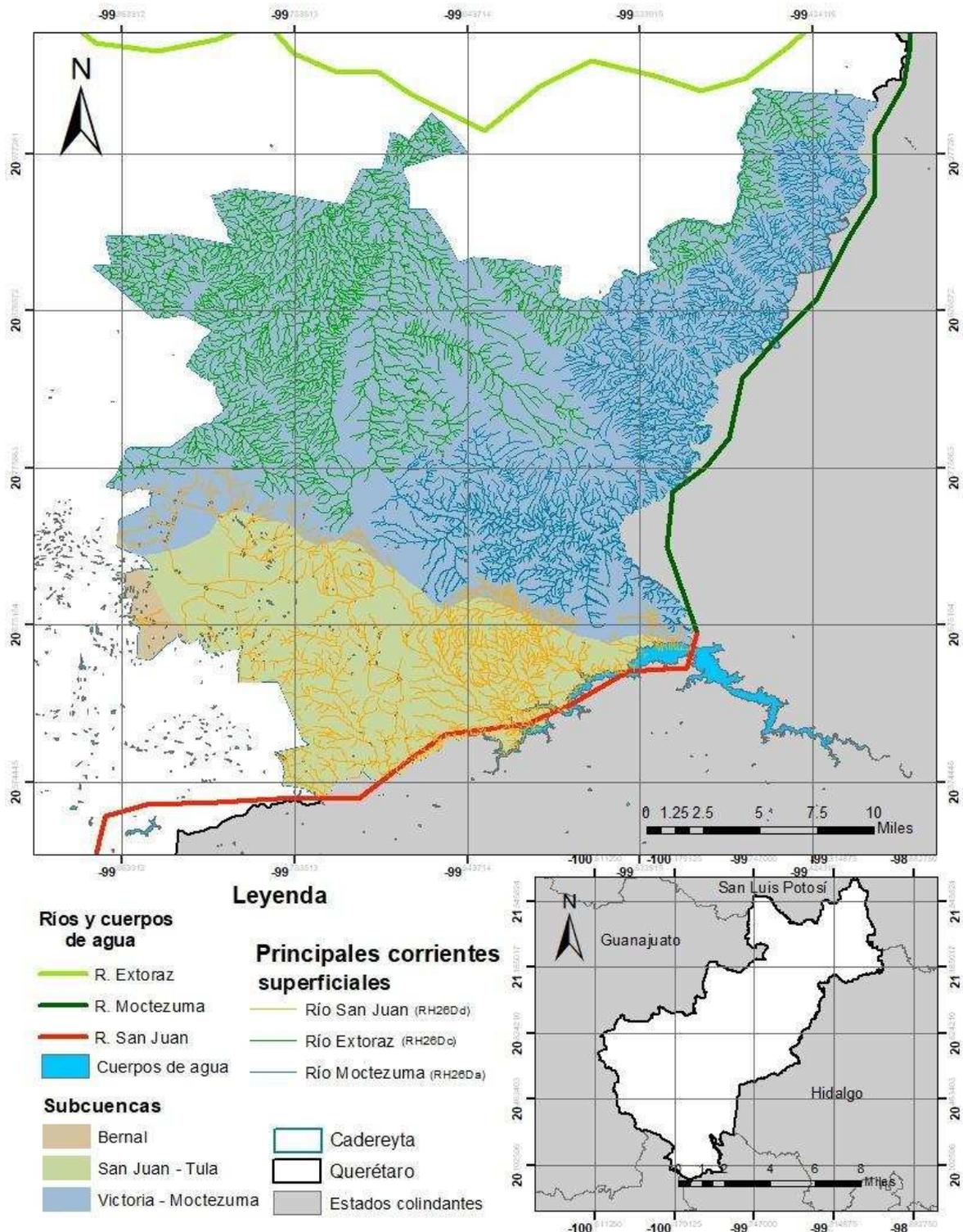


Figura 7. Subcuencas, ríos y cuerpos de agua del municipio de Cadereyta de Montes.

5.1.3 Edafología

Cadereyta presenta dos tipos de suelo dominantes (Figura 8). Los leptosoles son el tipo de suelo con mayor presencia. Se encuentran principalmente en zonas de alta

pendiente y formas escarpadas. Los Feozem son el segundo tipo de suelo con mayor distribución. Este tipo de suelo es caracterizado por poseer una capa rica en materia orgánica y nutrientes, de colores oscuros, que son resultado de procesos de humificación (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2017).

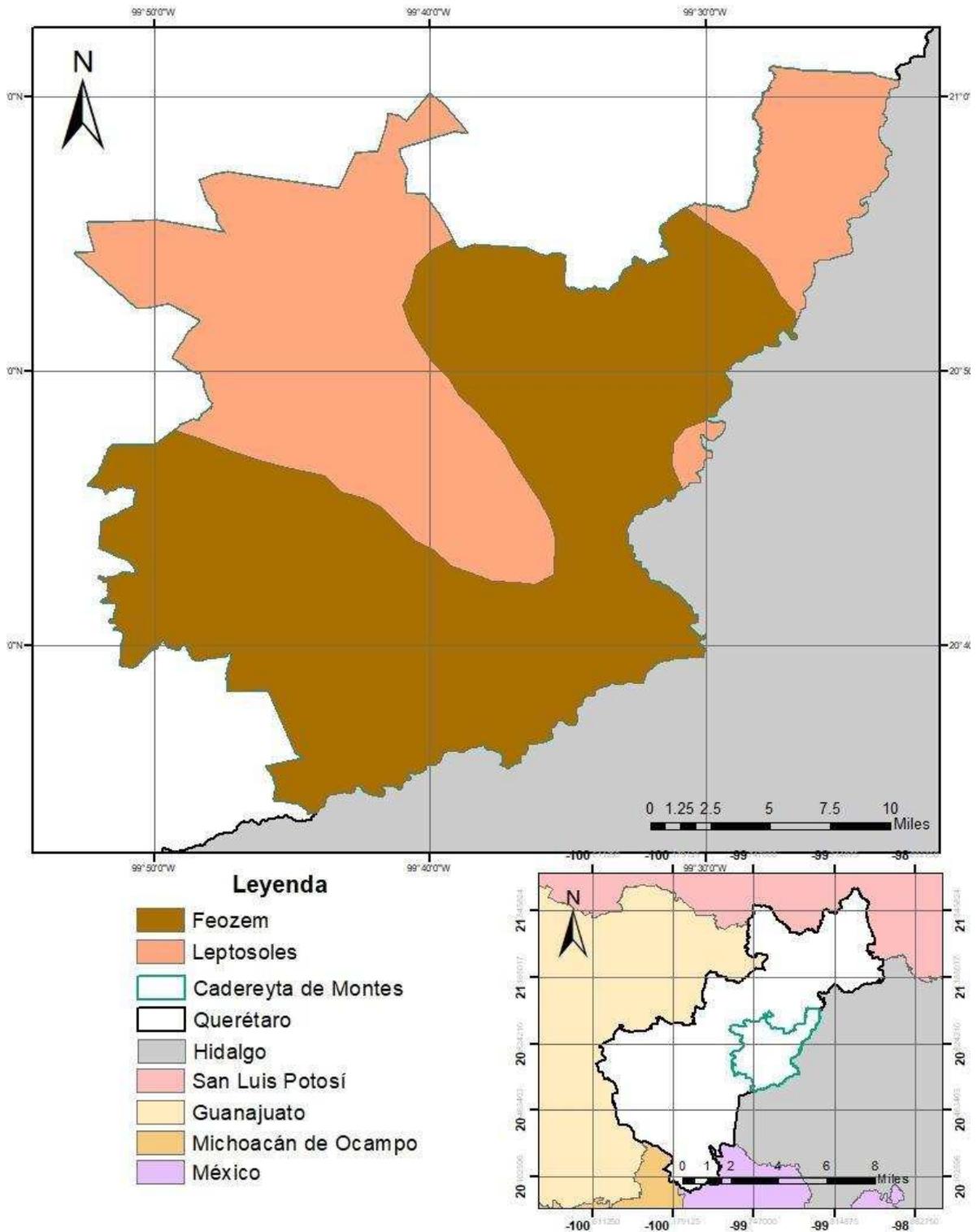


Figura 8. Principales tipos de suelo presentes en la zona de estudio.

5.1.4 Tipos de vegetación y uso de suelo

La vegetación dentro del municipio está compuesta por matorrales xerófilos como matorral crasicaule, matorral submontano, matorral micrófilo, matorral rosetófilo y

encinares arbustivos. Así como también manchones aislados de pastizales. Dentro de los bosques, se encuentran los bosques de *Quercus* y de coníferas; bosques de *Pinus*, de *Juniperus* y algunos vestigios de bosque de *Abies*. Además de vegetación acuática y subacuática en las corrientes permanentes y semipermanentes de los ríos Estóraz y Moctezuma (Zamudio *et al.*, 1992). Los usos de suelo se pueden agrupar en agricultura de riego y de temporal y asentamientos humanos. Para la zona de estudio se encuentran distribuidos de acuerdo con la Figura 9.

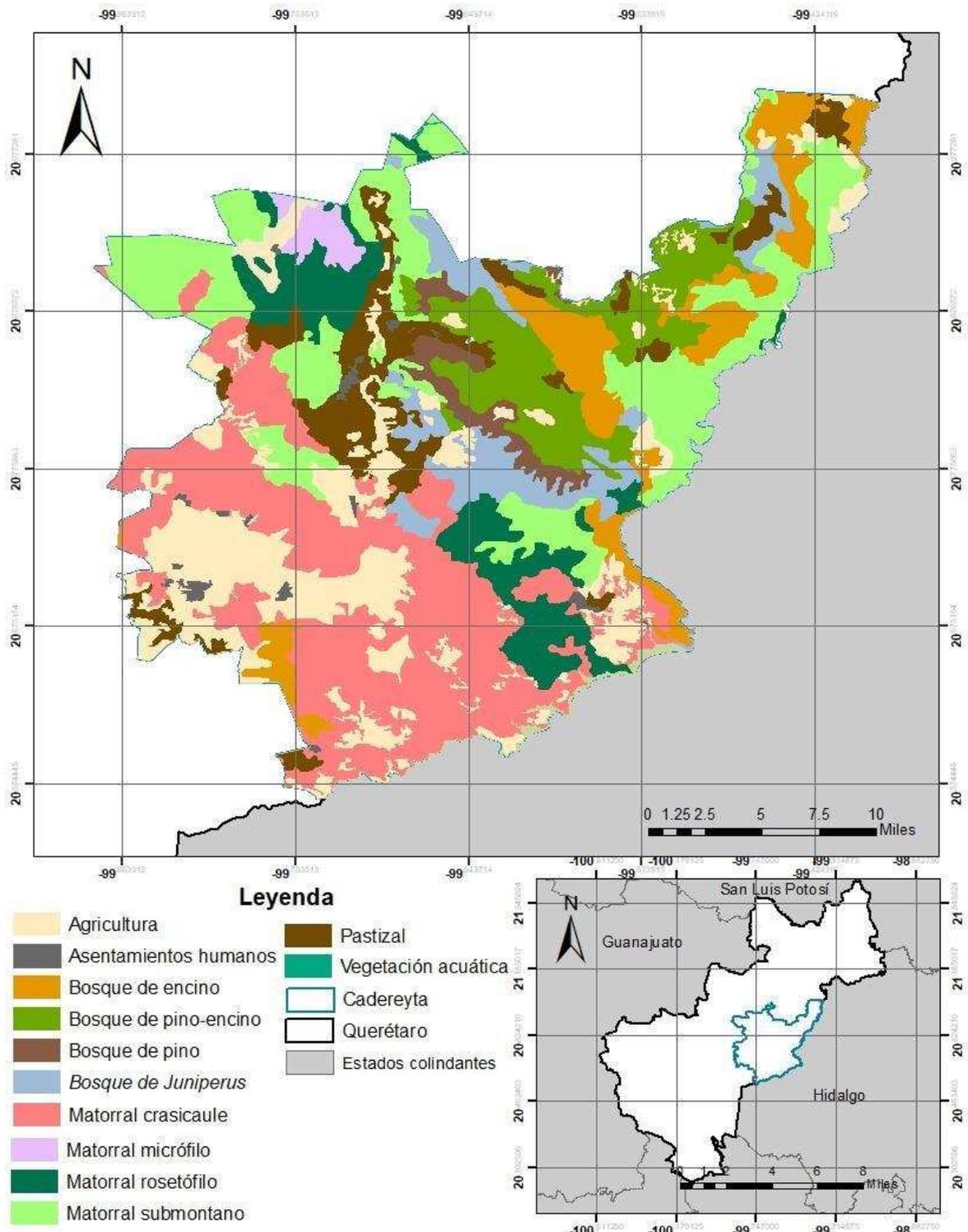


Figura 9. Tipos de vegetación.

5.2 Colectas

5.1 Base de datos para la distribución

Se elaboró una base de datos para las especies del género *Agave* que se distribuyen dentro de los límites del municipio de Cadereyta de Montes para lo cual se recopiló la información disponible de la plataforma digital Red de Herbarios del Noreste de México donde se consultaron los siguientes herbarios: BCMEX (Baja California), HCIAD (Sinaloa), HCIB (Baja California Sur), CIIDIR (Durango), USON (Sonora). Del Herbario Nacional MEXU y el herbario de Querétaro QMEX. Se usaron las bases de datos de GBIF (<https://www.gbif.org/es/>), Portal de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México (<https://datosabiertos.unam.mx/>) y Sistema Nacional de la Información de la Biodiversidad (<https://www.snib.mx/>).

5.1.2 Colecta de campo

Se visitaron las nueve delegaciones del municipio de Cadereyta de Montes durante el periodo comprendido de junio a diciembre del 2022. Para cada delegación se destinaron cuatro recorridos determinando aquellos sitios donde se encuentran distribuidas las poblaciones de especies. Se registraron las coordenadas geográficas y la altitud donde se encontraba cada ejemplar, así como también aquellas características diagnósticas para la identificación y el etiquetado para ejemplares de herbario.

La colecta consistió en colocar en una prensa botánica una hoja completa del ejemplar, desde la base hasta la espina terminal y sin dañar los márgenes. En ejemplares con inflorescencia, se colectó además la bráctea, flores y/o frutos. Para las hojas gruesas y/o grandes se procesaron en las instalaciones del herbario QMEX.

Adicionalmente, se colectaron semillas de algunas especies disponibles las cuales fueron *A. americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. difformis*, *A. funkiana*, *A. heteracantha*, *A. mapisaga*, *A. mitis*, *A. salmiana* y *A. striata* que se procesaron y anexaron dentro del Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma de Querétaro y fueron utilizadas para los análisis germinativos en este trabajo.

5.1.3 Herborización de ejemplares colectados

Las hojas de ejemplares más grandes que la prensa, se cortaron en tramos, eligiendo las partes más importantes para la identificación. Estas fueron la base de

la hoja, la parte media y el ápice, donde se encuentra la espina terminal. De las hojas suculentas se eliminó la parte central de la hoja, cuidando que los bordes no se dañaran.

Para el secado se acomodaron los ejemplares de manera que fueran visibles sus características taxonómicas. Colocando cada muestra en una prensa botánica, separando cada parte por un cartón y dos hojas de periódico. Se comprimieron las muestras con ayuda de cintas, que generaron presión en la prensa, ayudando al secado. Se almacenaron en una secadora de calor artificial en periodos de 7 a 10 días. Posteriormente, los ejemplares fueron montados y etiquetados.

5.1.4 Limpieza y almacenamiento de semillas

Las muestras de semilla de las especies *A. americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. difformis*, *A. funkiana*, *A. heteracantha*, *A. mapisaga*, *A. mitis*, *A. salmiana* y *A. striata* estuvieron disponibles durante el periodo de colecta y posteriormente, fueron limpiadas con ayuda de un pincel o tamices (dependiendo del tamaño de la semilla), se separó la semilla de los restos de la planta, después se separó la semilla vana de la semilla fértil. Por último, se pesaron, etiquetaron y almacenaron en el Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma de Querétaro.

5.3 Caracterización de la distribución

Los datos se obtuvieron a partir de la ubicación geográfica de los ejemplares colectados y revisados de las especies *A. albomarginata*, *A. americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. celsii*, *A. difformis*, *A. doctorensis*, *A. filifera*, *A. funkiana*, *A. garciae-mendozae*, *A. gentryi*, *A. heteracantha*, *A. lechuguilla*, *A. macroculmis*, *A. mapisaga*, *A. mitis*, *A. montana*, *A. salmiana*, *A. striata* y *A. xylonacantha*. Utilizando el software Google Earth. Los mapas fueron descargados del portal de geoinformación 2023 de la CONABIO y la plataforma INEGI.

Los tipos de vegetación fueron extraídos a partir del Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación con escala 1:250 000, Serie VII del Conjunto Nacional, edición: 1 del INEGI. Referenciados por su afinidad ecológica y composición florística y su distribución con base en el reconocimiento de sus variantes definidas por elementos ecológicos, florísticos y fisionómicos. Los tipos de

suelo por el Mapa de suelos dominantes de la República Mexicana (Primera aproximación 1996), escala 1:4000000 que está basado en la clasificación FAO/UNESCO/ISRIC. El clima fue tomado por el mapa de los diferentes tipos de climas de la República Mexicana de acuerdo con la clasificación de Koppen, escala 1:1000000 con datos del Sistema Meteorológico Nacional, Comisión Federal de Electricidad y Comisión Nacional del Agua. Los rangos de precipitación por el mapa Precipitación media anual en Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Este mapa presenta los rangos de precipitación en la República Mexicana. Los rangos altitudinales fueron tomados del mapa Hipsometría. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4000000. El cual muestra rangos hipsométricos a nivel nacional que oscilan entre 200 a >5000 msnm.

Con ArcMap 10.5 se posicionaron cada uno de los mapas de la República Mexicana con los límites del municipio de Cadereyta, que fue extraído del mapa División política municipal, 1:250000. 2022, escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

5.4 Pruebas pregerminativas

5.4.1 Viabilidad

El método fue empleado en el laboratorio de semillas de la Facultad de Ciencias Naturales. Se utilizó 2, 3,5-trifenil tetrazolio en una solución al 1%. Se utilizaron 100 semillas para cada especie, las cuales se embebieron durante un periodo de 24 h en agua destilada previo a colocarse en la solución de tetrazolio. Después de ser embebidas se realizó un corte al eje hipocófito con ayuda de una navaja de afeitar para dejar expuesto al embrión y facilitar la medición de la tinción. Las semillas se colocaron en cajas Petri con 10 ml de la solución de tetrazolio. Las cajas de Petri se envolvieron con papel aluminio para contener a las semillas en total oscuridad durante 24 h.

Cada muestra de las especies se observó en el microscopio estereoscopio para visualizar el patrón de tinción en las semillas. El criterio de tinción fue considerar a un embrión viable cuando 2/3 de la estructura se teñía, completamente teñido o embrión sin teñir.

5.4.2 Pruebas pregerminativas

Se emplearon la escarificación mecánica y química en grupos de 20 semillas para cada tratamiento y especie. En la escarificación mecánica se eliminó el arilo de la semilla con ayuda de una navaja de afeitar (TST) (Varela & Arana, 2011).

Para la escarificación química se utilizaron tres tratamientos: ácido sulfúrico, nitrato de potasio y agua a temperatura ambiente mediante el remojo de las semillas en los diferentes compuestos químicos. Los compuestos que se utilizaron fueron el ácido sulfúrico (H_2SO_4) a una concentración del 25% y el nitrato de potasio (KNO_3) con una concentración al 30%. Los grupos de semillas para cada especie se sumergieron durante un periodo de 30 minutos en ambos compuestos (López-Hernández, 2015; Viveros-Viveros *et al.*, 2015). En el caso del agua, se remojo un grupo de semillas en agua a temperatura ambiente durante 72 h (Viveros-Viveros *et al.*, 2015). Además, se incluyó un grupo control (CNL) al cual no se le aplicó ningún tratamiento.

Cada tratamiento fue empleado en tres sitios diferentes; 1) el laboratorio de semillas (LB) de la facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se registró la temperatura del sitio durante el periodo de germinación. 2) cámara de germinación (CG) en donde se estableció una temperatura constante de 25°C y un fotoperiodo 12/12 y 3) en condiciones de vivero (MS) donde se monitoreo la temperatura durante el tiempo de germinación. Todas las semillas sometidas a los distintos tratamientos fueron almacenadas en cajas de Petri con algodón y fueron monitoreadas diariamente contando el número de semillas germinadas por día.

5.5 Análisis de datos

5.5.1 Mapas

Con los datos de los ejemplares disponibles en los herbarios y plataformas digitales consultados, se elaboraron mapas de la distribución actual dentro del municipio de Cadereyta de Montes, de cada una de las especies de *Agave* con el programa ArcGIS 10.5. Para cada mapa se tomaron en cuenta también los registros de campo con coordenadas geográficas. La escala para cada uno de los mapas fue 1:293,911. Para calcular la riqueza de especies se utilizó el programa QGIS, donde se empleó

una composición de hexágonos a un espacio de 1.0 metros, utilizando el número de especies encontradas dentro de los hexágonos.

5.5.2 Prueba de viabilidad

La viabilidad se expresó en porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$Viabilidad: \frac{\# \text{ Semillas teñidas}}{\# \text{ Total de semillas}} * 100$$

5.5.3 Métodos analíticos de germinación

Para los datos obtenidos de la germinación se obtuvieron los porcentajes de germinación (%) a los 10 días de germinación, contabilizando a partir del momento de emergencia de la hoja cotiledonar y se graficó en función del tiempo en el programa Excel.

También, se obtuvo el Coeficiente de velocidad (*CV*) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{\sum n_i}{\sum (n_i t_i)} * 100$$

Dónde: *CV*= coeficiente de velocidad, n_i =número de semillas germinadas el día i , t_i =número de días después de la siembra.

5.5.4 Pruebas estadísticas

Se llevó a cabo un *ANOVA* factorial estricto para determinar si había diferencias significativas dentro de los tratamientos y sitios y probar si existía la interacción entre ambos factores para el porcentaje de germinación (%G) y para el coeficiente de velocidad (*CV*). Además de comparaciones entre cada factor con una prueba de HSD Tukey. Todos los análisis estadísticos fueron analizados en el programa R 4.3.0.

5.6 Consideraciones adicionales

5.6.1 Manejo de residuos

Todos los residuos químicos se procesaron de acuerdo con el Manual de manejo de residuos peligrosos (RP) para laboratorios de docencia e investigación de la

Facultad de Ciencias Naturales. Consistió en identificar la peligrosidad de las sustancias utilizadas: Cloruro de tetrazolio, ácido sulfúrico y nitrato de potasio. Se envasaron y etiquetaron. Las sustancias fueron almacenadas en el almacén temporal de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro (Ahumada, 2021).

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización de la distribución

Se obtuvieron 282 registros a partir de consultas en la literatura y colectas de campo, correspondientes a 20 especies de *Agave* dentro de los límites del municipio, de los cuales ocho no tenían coordenadas geográficas y fueron georreferenciados a partir de los datos de localidad. Las especies con mayor número de registros fueron *A. salmiana* mientras que las que menor número obtuvieron fueron *A. montana* y *A. mapisaga*.

De acuerdo con la clasificación de Thiede (2020) el subgénero *Littaea* está representado en el municipio por 13 especies pertenecientes a cuatro grupos: *Filiferae* (1 sp), *Heteracanthae* (7 sp), *Juncinae* (1 sp) y *Micranthae* (2 sp). Mientras que el subgénero *Agave* con ocho especies de los grupos: *Agave* (2 sp), *Ditepalae* (1 sp), *Salmianae* (5 sp) (Tabla 1).

Se encontraron especies dentro de nueve de los once tipos de vegetación distribuidos en el municipio: agricultura, bosque de encino, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de *Juniperus*, matorral crasicaule, matorral rosetófilo, matorral submontano y pastizal. El bosque de *Juniperus* y el matorral crasicaule fueron los que presentaron mayor cantidad de especies, con diez cada uno, mientras que el matorral rosetófilo presentó dos especies (Figura 14). La riqueza de especies es mayor en las zonas de transición entre bosques y matorrales (Figura 15).

Las especies se distribuyen en los cuatro tipos de clima que existen en el municipio, principalmente en regiones de climas semiseco templado (14 especies) y templado subhúmedo (12 especies). Cuatro especies para semiseco semicálido y una especie para seco semicálido. La riqueza de especies varía en los dos tipos de clima principales; para semiseco templado de una hasta seis especies por determinada área y para templado subhúmedo de una a cuatro especies (Figura 15). En cuanto a la precipitación anual, 17 especies se distribuyen dentro del rango 600 a 800 mm y 13 especies para 400 a 600 mm (Figura 14). La riqueza es mayor en los rangos de 600 a 800 mm, de una hasta cuatro especies por área mientras que para los rangos de 400 a 600 mm de una a tres especies (Figura 16).

Las especies se desarrollan en las tres provincias fisiográficas, la Faja Volcánica Transmexicana alberga 16 especies, seguido de la Sierra Madre Oriental con 13 y el Altiplano mexicano con siete. Los valores de riqueza de especies entre provincias oscilan entre una a 4 especies por área particular, sin embargo, la Sierra Madre Oriental presenta una mayor cantidad de puntos altos para la riqueza (Figura 16). Para los tipos de suelo, los leptosoles presentan 19 especies y los feozems 14 (Figura 14). La riqueza es mayor para aquellas áreas con suelos leptosoles, de una a cuatro especies por área y presentando mayor cantidad de puntos altos respecto a los feozems (Figura 17).

En campo se observó que la mayoría de las especies se distribuyen en zonas con heterogeneidad ambiental (Figura 10, 11, 12 y 13), este mismo patrón se observa para la riqueza de especies. Se distribuyen desde los 1000 m hasta los 3000 m de altitud. Sin embargo, en el municipio el mayor número de especies se encuentra en el rango de los 2000 a 2500 m (Figura 14). En la Tabla 4 se muestra la caracterización de hábitat para las 20 especies registradas.

Especie	Registros en total	Registros en literatura	Colectas
Subgénero <i>Littaea</i>			
Gpo. <i>Filiferae</i>			
<i>A. filifera</i>	5	5	0
Gpo. <i>Heteracanthae</i>			
<i>A. albomarginata</i>	8	7	1
<i>A. difformis</i>	7	6	2
<i>A. doctorensis</i>	3	2	1
<i>A. funkiana</i>	3	0	3
<i>A. garciae-mendozae</i>	3	0	3
<i>A. glomeruliflora</i>	3	3	0
<i>A. heteracantha</i>	3	0	3
<i>A. lechuguilla</i>	16	16	0
<i>A. xylonacantha</i>	15	14	1
Gpo. <i>Juncinae</i>			
<i>A. striata</i>	28	27	1
Gpo. <i>Micranthae</i>			
<i>A. celsii</i>	9	9	0
<i>A. mitis</i>	7	7	0
Subgénero <i>Agave</i>			
Gpo. <i>Agave</i>			
<i>A. americana</i>	18	6	12
<i>A. asperrima</i>	9	2	7
Gpo. <i>Ditepalae</i>			
<i>A. applanata</i>	13	13	0
Gpo. <i>Salmianae</i>			
<i>A. gentryi</i>	3	3	0
<i>A. macroculmis</i>	6	6	0
<i>A. mapisaga</i>	2	0	2
<i>A. montana</i>	1	1	0
<i>A. salmiana</i>	116	92	24
* <i>Agave</i> sp	3	0	3

Tabla 3. Listado de especies registradas para el municipio de Cadereyta de Montes con el número de registros. El asterisco indica especies sin identificar.

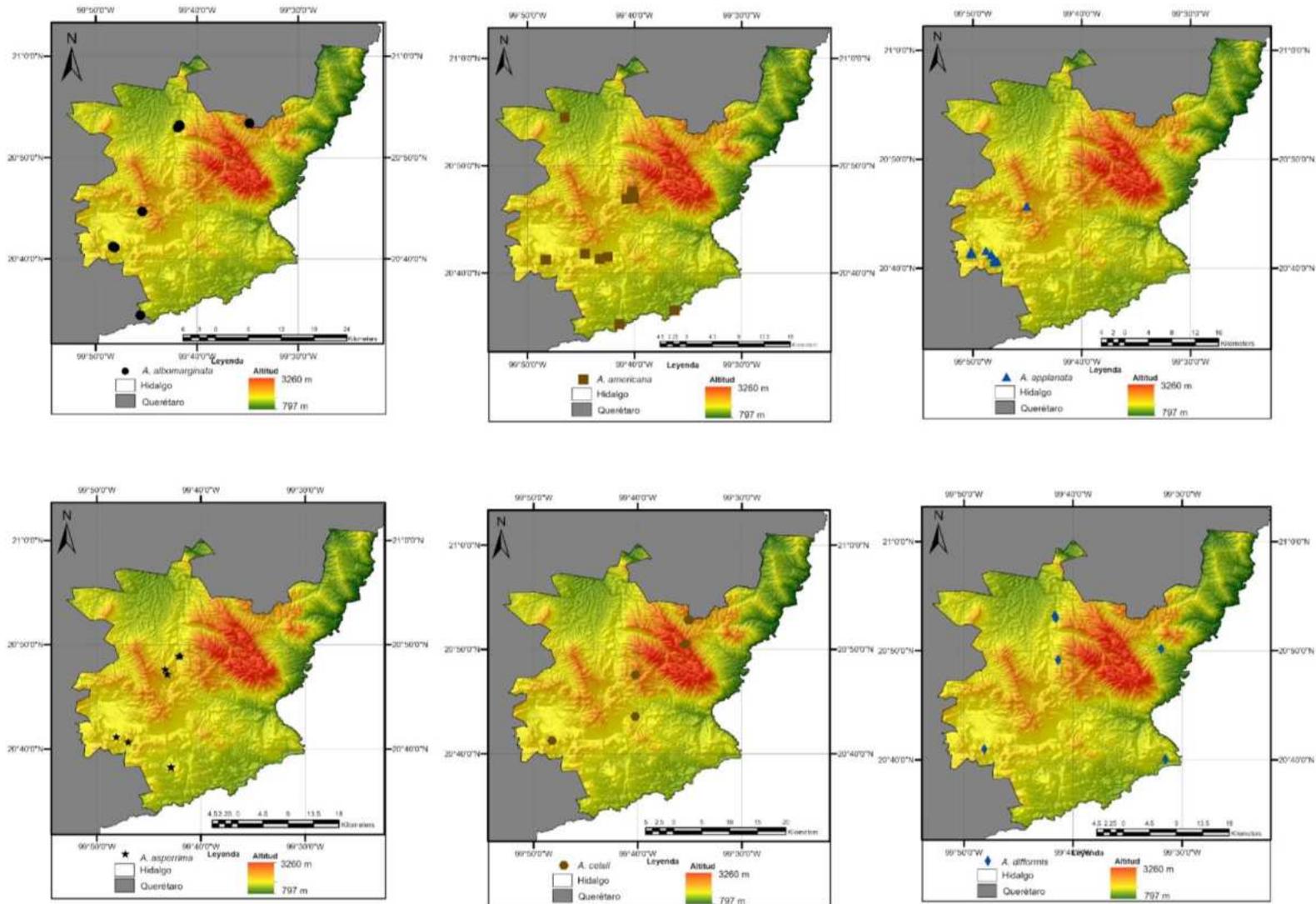


Figura 10. Distribución actual de las especies *A. albomarginata*, *A. americana*, *A. applanata*, *A. asperima*, *A. celsii* y *A. difformis*.

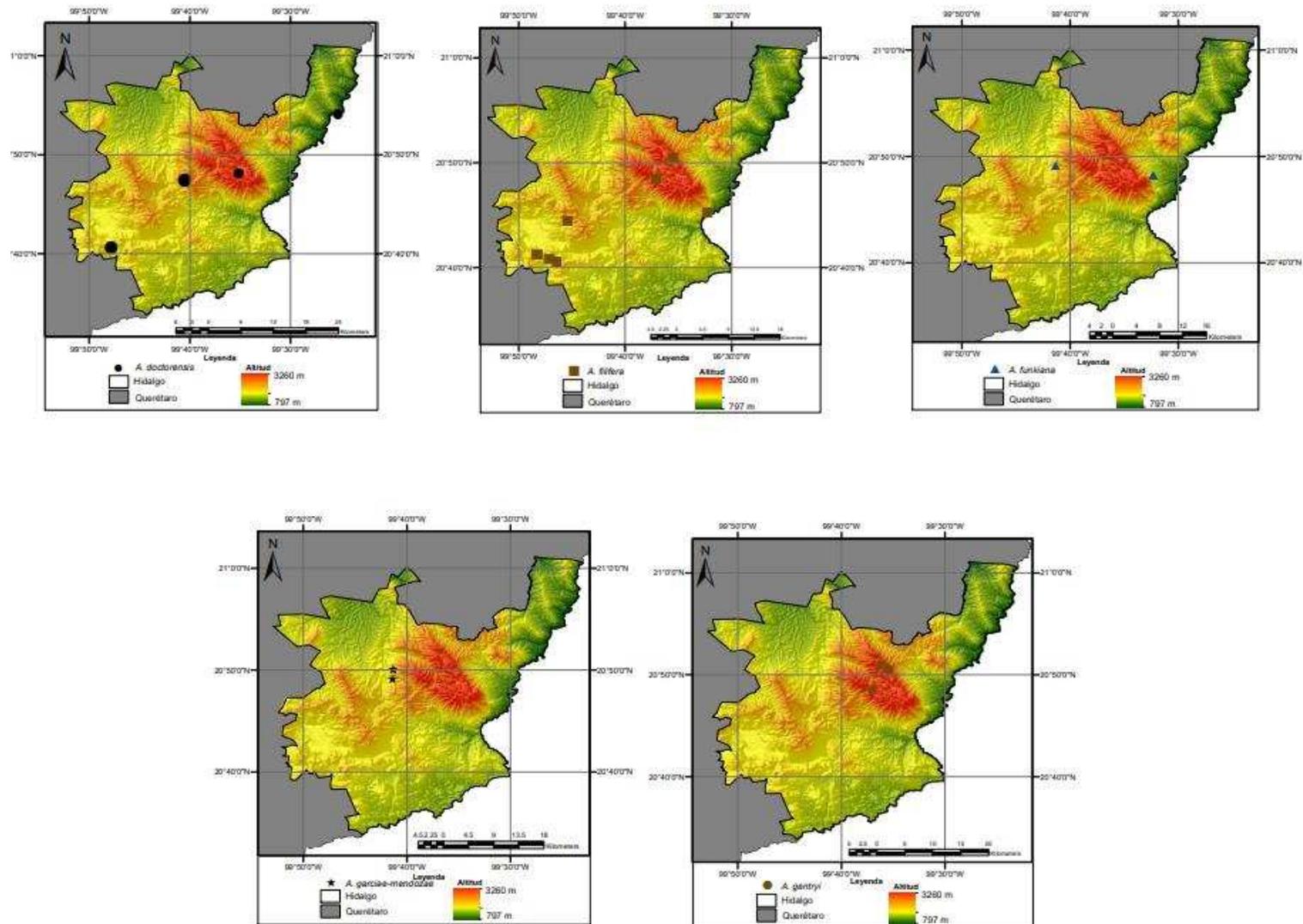


Figura 11. Distribución de las especies *A. doctorensis*, *A. filifera*, *A. funkiana*, *A. garciae-mendozae* y *A. gentryi*.

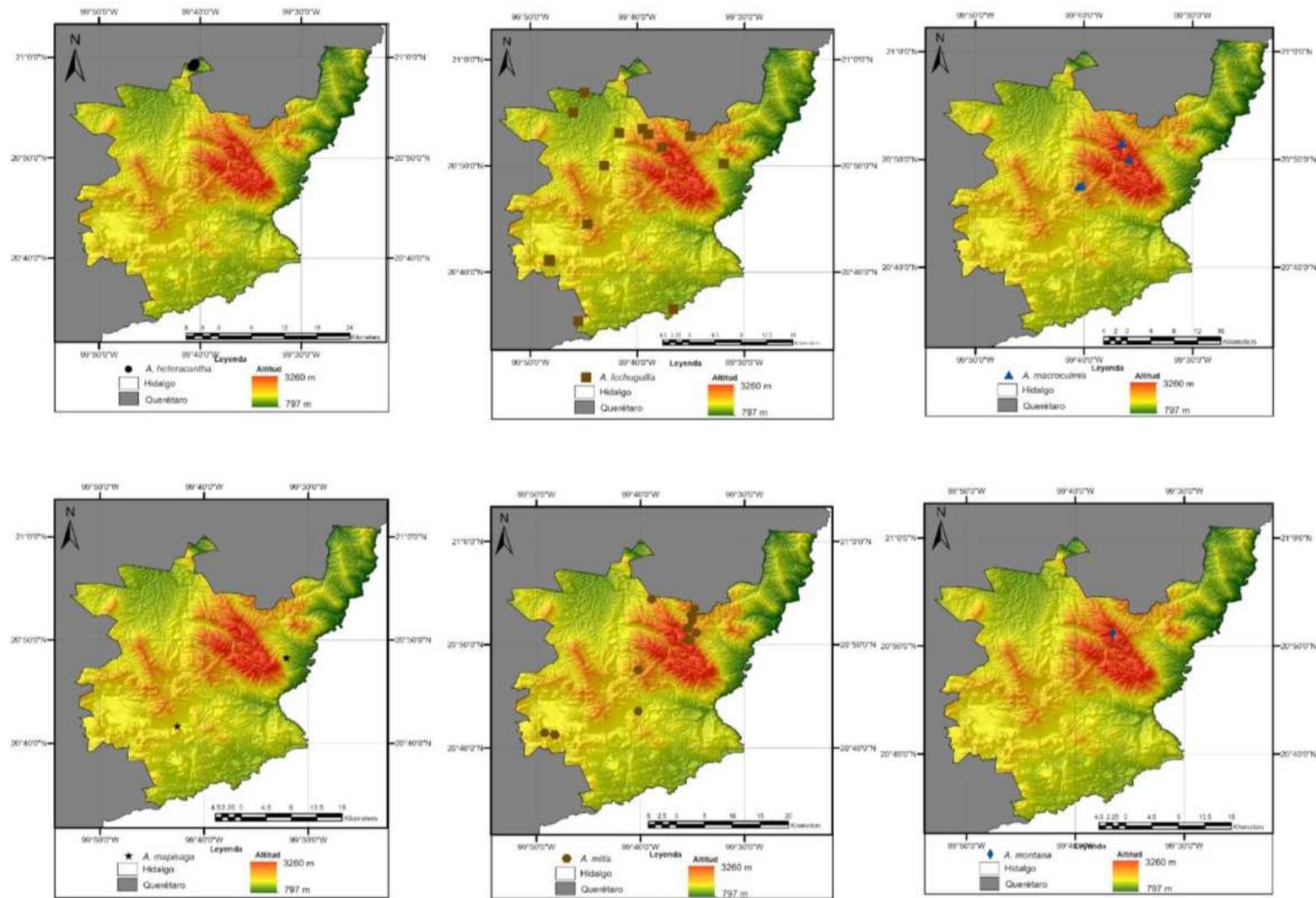


Figura 12. Distribución de las especies *A. heteracantha*, *A. lechuguilla*, *A. macroculmis*, *A. mapisaga*, *A. mitis* y *A. montana*.

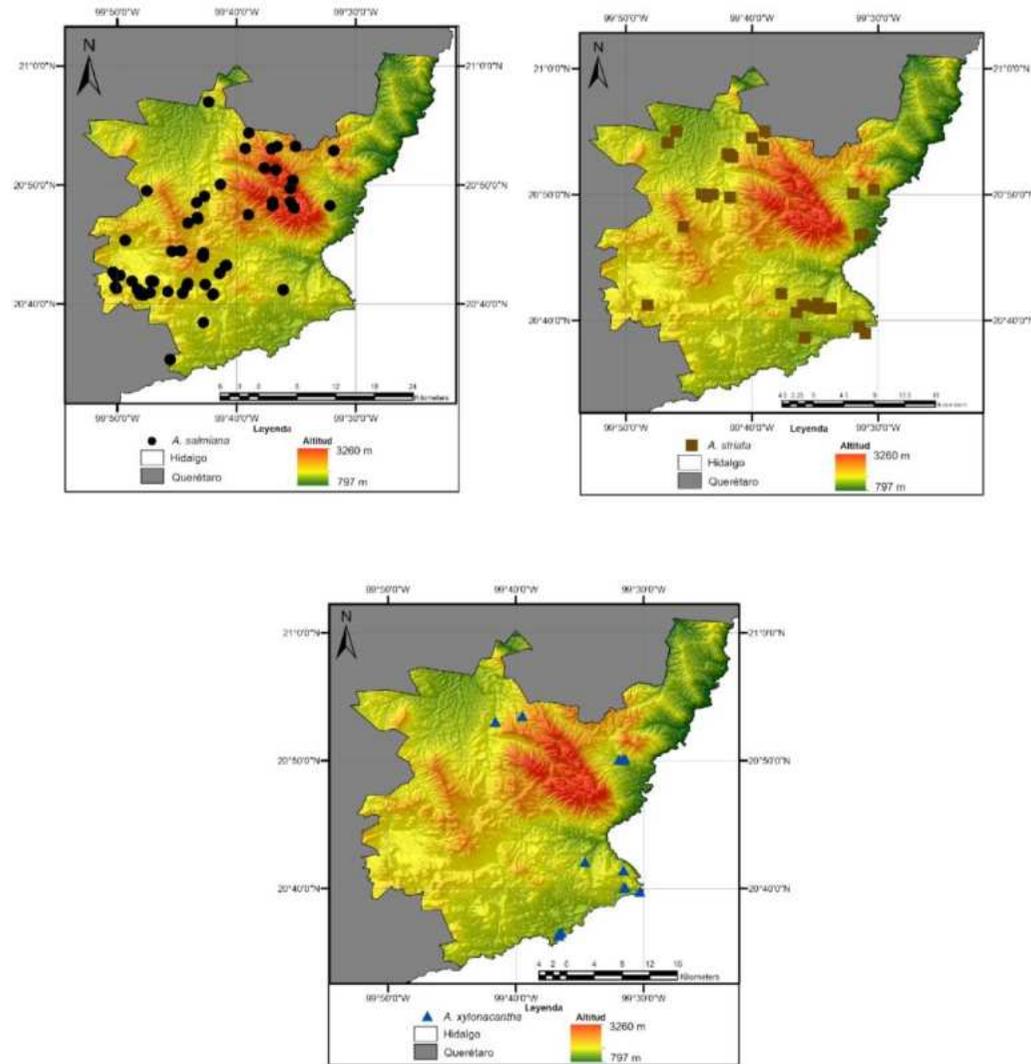


Figura 13. Distribución de *A. salmiana*, *A. striata* y *A. xylonacantha*.

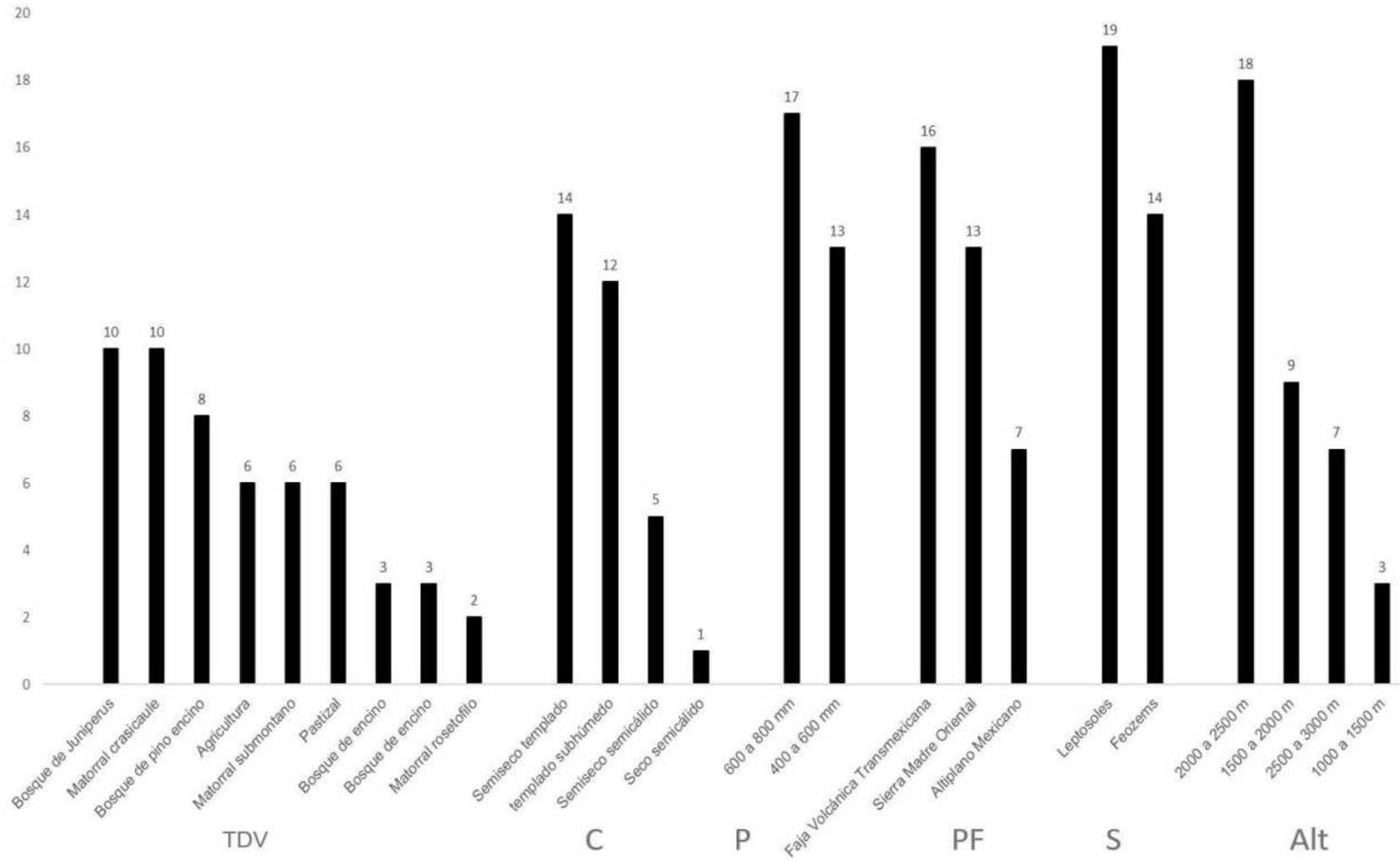


Figura 14. Caracterización de la distribución de las especies de *Agave*. TDV: tipos de vegetación, C: clima, P: rangos de precipitación, PF: provincias fisiográficas, S: tipos de suelo, Alt: rangos de altitud.

Especie	Tipos de vegetación									Tipo de clima			Precipitación (mm)		Provincia fisiográfica			Tipo de suelo		Intervalo altitudinal					
	AT	BE	BP	BPE	BJ	MC	MR	MS	P	C (w)	BS1kw	BS1hw	BS0hw	400-600	600-800	FVT	SMOr	AM	FEO	LEP	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-3000	
<i>A. americana</i>	■								■		■								■	■					
<i>A. albomarginata</i>						■			■		■								■	■					
<i>A. applanata</i>						■					■								■	■					
<i>A. asperrima</i>						■			■		■								■	■					
<i>A. celsii</i>				■		■				■									■	■					
<i>A. difformis</i>					■	■		■		■									■	■		■			
<i>A. doctorensis</i>				■		■				■									■	■					
<i>A. filifera</i>		■				■				■									■	■					
<i>A. funkiana</i>					■		■			■									■	■					
<i>A. garciae-mendozae</i>					■					■									■	■					
<i>A. gentryi</i>		■	■							■									■	■					
<i>A. heteracantha</i>									■			■							■	■		■			
<i>A. lechuguilla</i>	■		■	■	■	■	■	■	■	■									■	■					
<i>A. macroculmis</i>						■				■									■	■					
<i>A. mapisaga</i>	■					■				■									■	■					
<i>A. mitis</i>		■	■	■	■	■				■									■	■					
<i>A. montana</i>						■				■									■	■					
<i>A. salmiana</i>	■	■	■	■	■	■		■	■	■		■							■	■		■			
<i>A. striata</i>						■			■	■		■							■	■					
<i>A. xylonacantha</i>						■			■	■									■	■					

Tabla 4. Caracterización de la distribución de las especies de *Agave*. Tipos de vegetación: AT: agricultura de temporal, BE: bosque de encino, BP: bosque de pino, BPE: bosque de pino-encino, BJ: bosque de *Juniperus*, MC: matorral crasicauale, MR: matorral rosetófilo, MS: matorral submontano, P: pastizal. Clima: C (w): templado subhúmedo, BS1kw: semiseco templado, BS1hk: semiseco semicálido, BS0hw: seco semicálido. Provincias fisiográficas: FVT: faja volcánica transmexicana, SMOr: sierra madre oriental, AM: altiplano mexicano. Tipos de suelo: FEO: feozems, LEP: leptosoles.

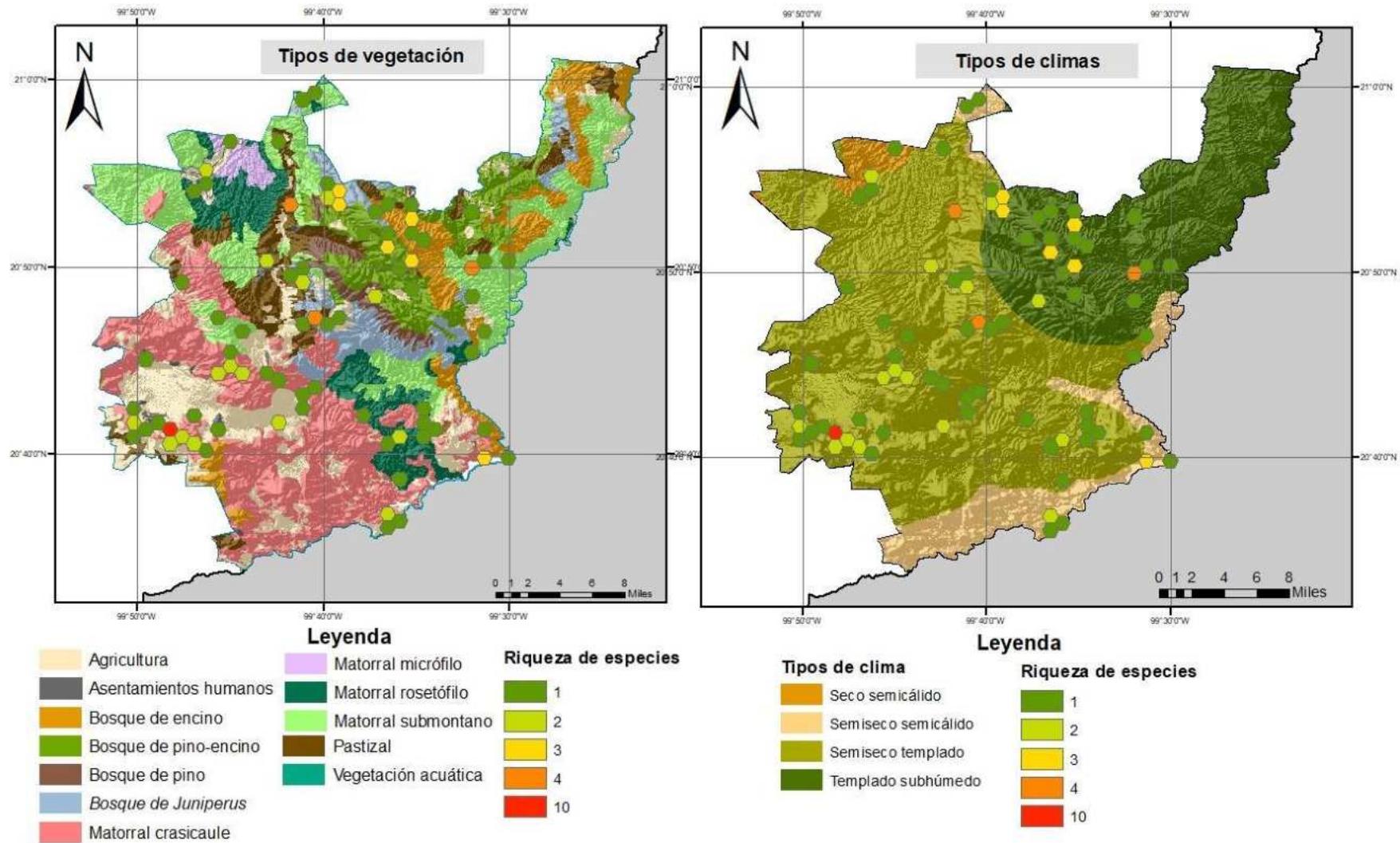


Figura 15. Mapas de riqueza de especies por tipo de vegetación y clima del municipio de Cadereyta.

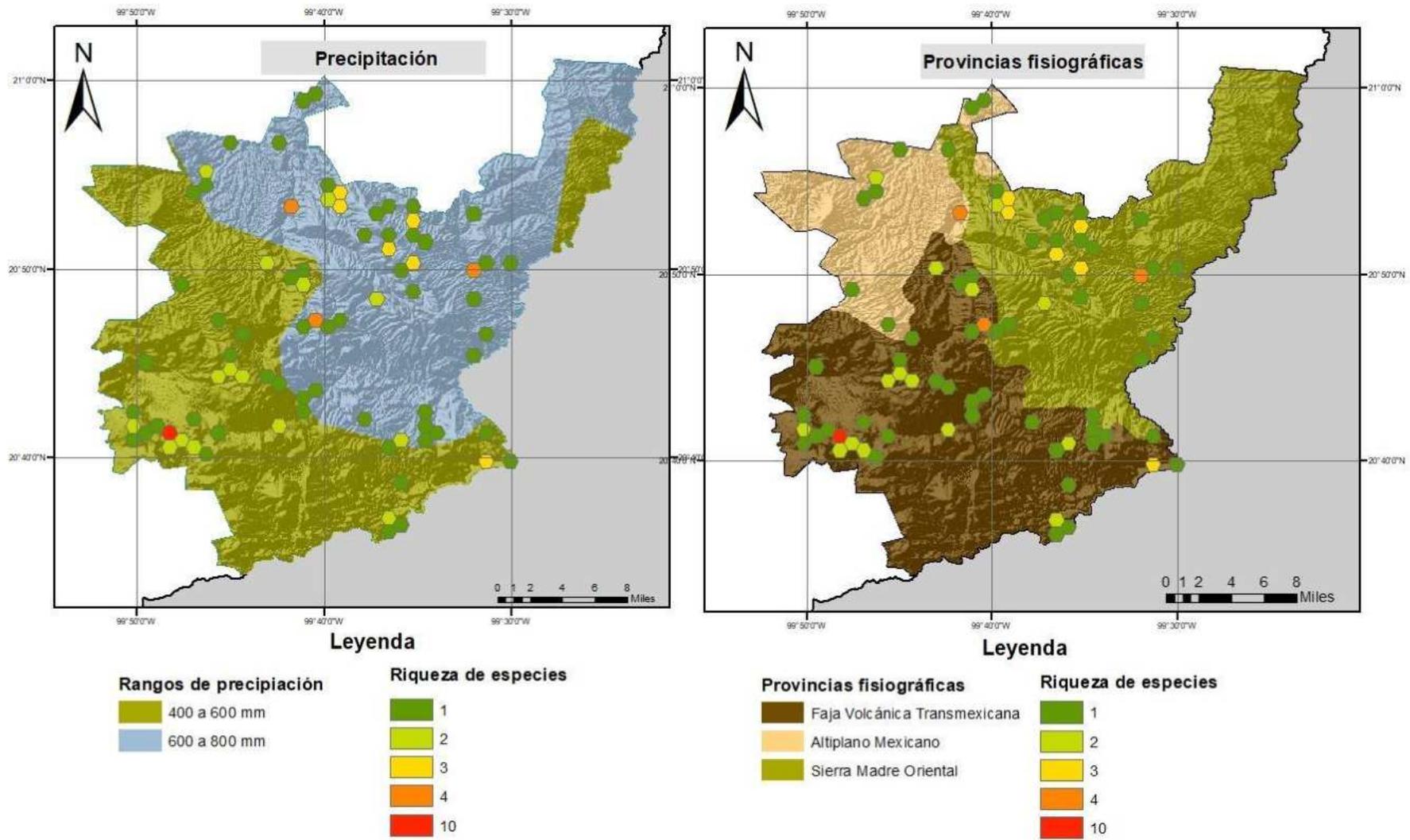


Figura 16. Mapas de riqueza de especies por provincias fisiográficas y rangos de precipitación.

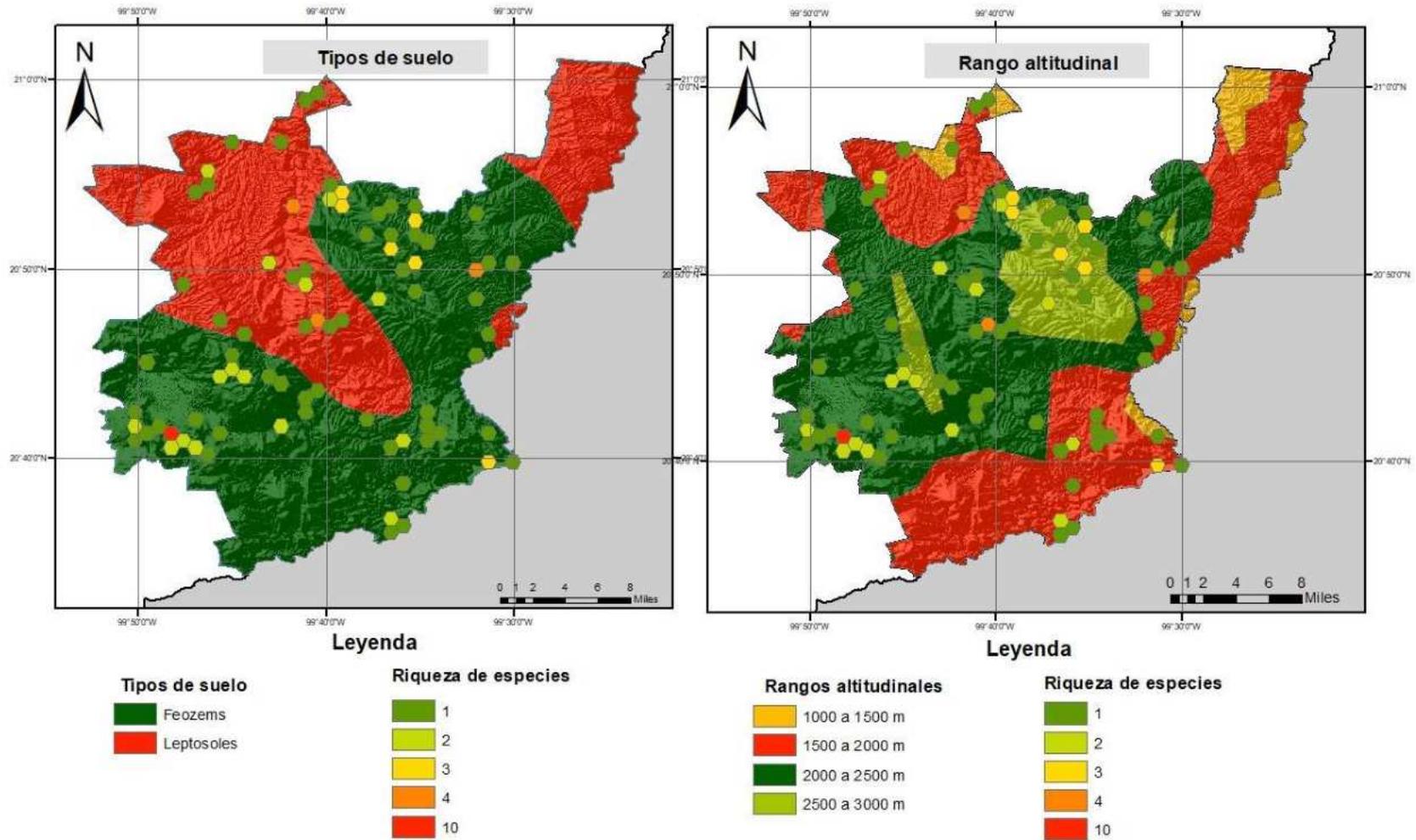


Figura 17. Mapas de riqueza de especies por rangos altitudinales y tipos de suelo.

6.2 Semillas de *Agave*

En la Tabla 5 se muestran los pesos registrados para cada una de las especies de *Agave* con semillas disponible.

Especie	Peso total de muestra (g)	Semilla vana (g)	Peso semilla (g)	Peso 100 semillas (g)	# de semillas
<i>A. americana</i>	370	45	325	0.778	41773
<i>A. applanata</i>	159.5	17	97.5	8.13	1199
<i>A. asperrima</i>	328	113	215	0.825	26060
<i>A. difformis</i>	125	49	76	0.595	12773
<i>A. funkiana</i>	164	35	129	0.483	26708
<i>A. garciae-mendozae</i>	36	24	12	0.302	3973
<i>A. heteracantha</i>	69	30	39	0.306	12745
<i>A. mapisaga</i>	341	203	138	1.007	13704
<i>A. mitis</i>	121	45	76	0.348	21839
<i>A. salmiana</i>	449.5	138.5	311	1.138	27328
<i>A. striata</i>	10	7	3	0.204	1470

Tabla 5. Datos del peso de semillas viables y vanas para las especies de *Agave*.

6.2.1 Prueba de viabilidad

Las especies con mayor porcentaje de viabilidad fueron *A. asperrima* (91%), *A. applanata* (87%) y *A. mapisaga* (85%). Mientras que las que menores porcentajes obtuvieron fueron *A. striata* (47%) y *A. heteracantha* (49%) (Figura 18 y 19).

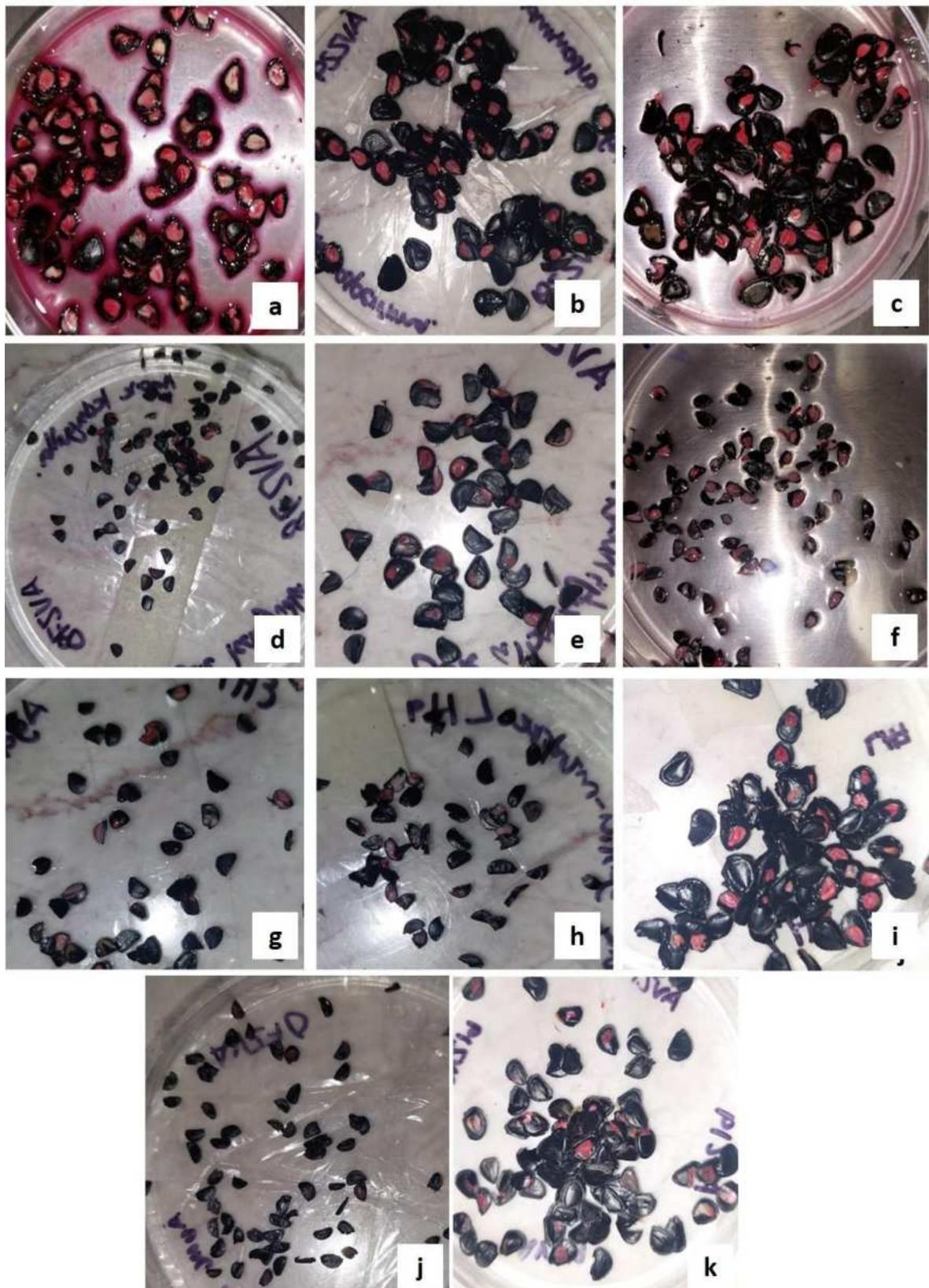


Figura 18. Viabilidad de las semillas. a) *A. americana*, b) *A. applanata*, c) *A. asperrima*, d) *A. difformis*, e) *A. funkiana*, f) *A. garciae-mendozae*, g) *A. heteracantha*, h) *A. mapisaga*, i) *A. mitis*, j) *A. salmiana*, k) *A. striata*.

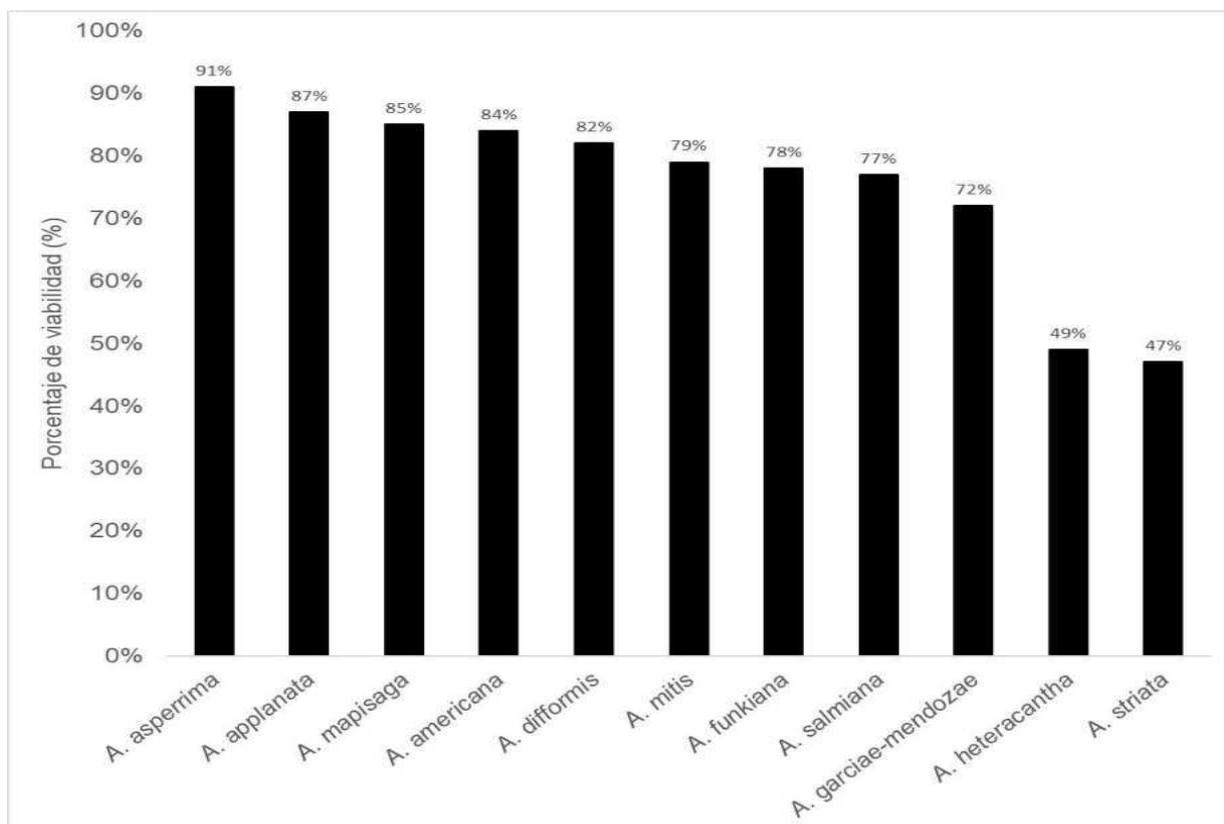


Figura 19. Porcentaje de viabilidad de las semillas.

6.3.1 Pruebas pregerminativas

La temperatura promedio registrada para el laboratorio de semillas (LB) fue 25.84°C y para las condiciones de vivero (MS) fue de 24.63°C. Mientras que en la cámara de germinación (CG) se mantuvo una temperatura constante de 25°C.

6.3.1.1 Porcentaje de germinación

Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos pregerminativos ($p=0.00031$) y no se observaron diferencias significativas por sitio ($p=0.3523$). Tampoco se observó una interacción significativa entre los sitios y el tratamiento ($p=0.926$). Los porcentajes más altos de germinación fueron para los tratamientos H₂O y TST (Figura 21), aunque no hubo mucha variación entre estos tratamientos y el grupo CNL. Mientras que los porcentajes más bajos fueron para el tratamiento H₂SO₄ (Figura 20).

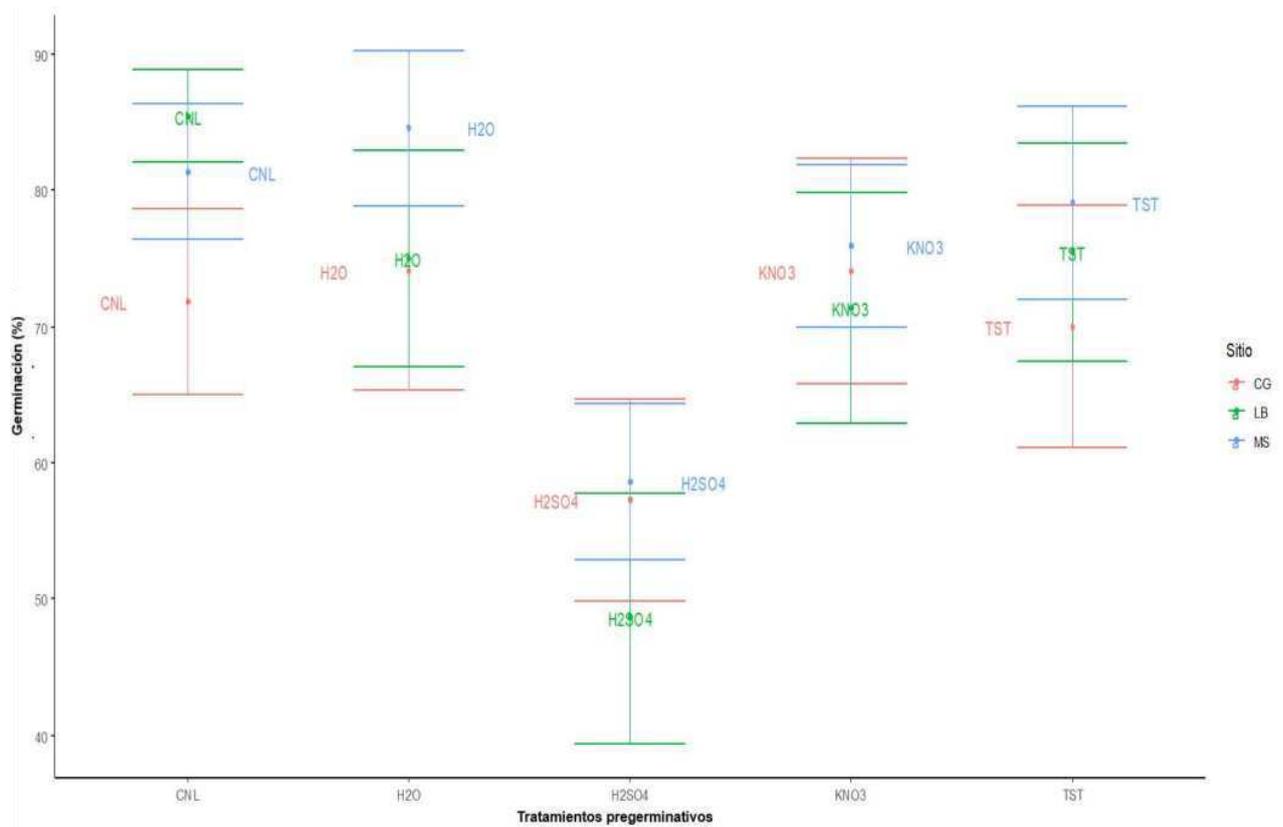


Figura 20. Porcentaje de germinación (%G) para cada tratamiento en contraste con cada sitio.

```

$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
H2O-CNL  -1.666667 -18.101741 14.768408 0.9986404
H2SO4-CNL -24.696970 -41.132044 -8.261895 0.0005278
KNO3-CNL  -5.757576 -22.192650 10.677499 0.8693946
TST-CNL   -4.696970 -21.132044 11.738105 0.9334314
H2SO4-H2O -23.030303 -39.465378 -6.595229 0.0015068
KNO3-H2O  -4.090909 -20.525984 12.344165 0.9589645
TST-H2O   -3.030303 -19.465378 13.404771 0.9863587
KNO3-H2SO4 18.939394  2.504319 35.374468 0.0150902
TST-H2SO4 20.000000  3.564925 36.435075 0.0086369
TST-KNO3   1.060606 -15.374468 17.495681 0.9997720

$Sitio
      diff      lwr      upr      p adj
LB-CG  1.727273 -9.186615 12.64116 0.9255934
MS-CG  6.454545 -4.459343 17.36843 0.3434992
MS-LB  4.727273 -6.186615 15.64116 0.5620705

```

Figura 21. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación (%G).

6.3.1.2 Especies de Agave

Las especies que presentaron los porcentajes más altos para el tratamiento TST fueron *A. americana*, *A. salmiana* y *A. difformis* (Tabla 6). Para el tratamiento H₂SO₄ la especie *A. garciae-mendozae* presentó el mayor porcentaje para cada tratamiento y con menor variación (Tabla 6).

Las especies que presentaron mayores porcentajes para el tratamiento con H₂O fueron *A. americana*, *A. mitis* y *A. salmiana*. El grupo CNL obtuvo los valores más altos para las especies *A. salmiana*, *A. americana* y *A. garciae-mendozae* (Tabla 6).

Por otro lado, los porcentajes menores fueron en su mayoría para el tratamiento H₂SO₄ registrando 5 especies debajo del 50%; siendo las especies *A. applanata*, *A. heteracantha* y *A. striata* las que obtuvieron menores porcentajes. El tratamiento TST obtuvo valores bajos para las especies *A. heteracantha* y *A. striata*. Mientras que, el tratamiento KNO₃ obtuvo los valores más bajos para las especies *A. striata* y *A. garciae-mendozae*. En el Apéndice 2 se muestra el porcentaje de germinación respecto al tiempo para cada especie.

Especie	Porcentaje de germinación (PG)				
	CNL	H ₂ O	H ₂ SO ₄	KNO ₃	TST
<i>A. americana</i>	91.67	100.00	56.67	98.33	96.67
<i>A. applanata</i>	80.00	76.67	28.33	80.00	83.33
<i>A. asperima</i>	90.00	86.67	43.33	86.67	80.00
<i>A. difformis</i>	90.00	91.67	83.33	93.33	91.67
<i>A. funkiana</i>	70.00	76.67	55.00	53.33	75.00
<i>A. garciae-mendozae</i>	91.67	81.67	93.33	81.67	88.33
<i>A. heteracantha</i>	61.67	28.33	36.67	41.67	25.00
<i>A. mapisaga</i>	68.33	85.00	40.00	66.67	86.67
<i>A. mitis</i>	88.33	98.33	71.67	80.00	78.33
<i>A. salmiana</i>	95.00	95.00	63.33	91.67	93.33
<i>A. striata</i>	40.56	37.22	37.22	32.78	20.00

Tabla 6. Porcentaje de germinación por tratamiento. CNL: grupo control, TST: testa.

6.3.1.3 Coeficiente de velocidad

Se observaron diferencias significativas para cada tratamiento pregerminativo ($p=2e-16$) además de una diferencia significativa entre los sitios ($p=0.019$). Los valores de CV más altos fueron para el tratamiento con H₂O y TST y se observó mucha

variación entre estos tratamientos y CNL. Mientras que los valores más bajos fueron para el tratamiento KNO_3 (Figura 22 y 23).

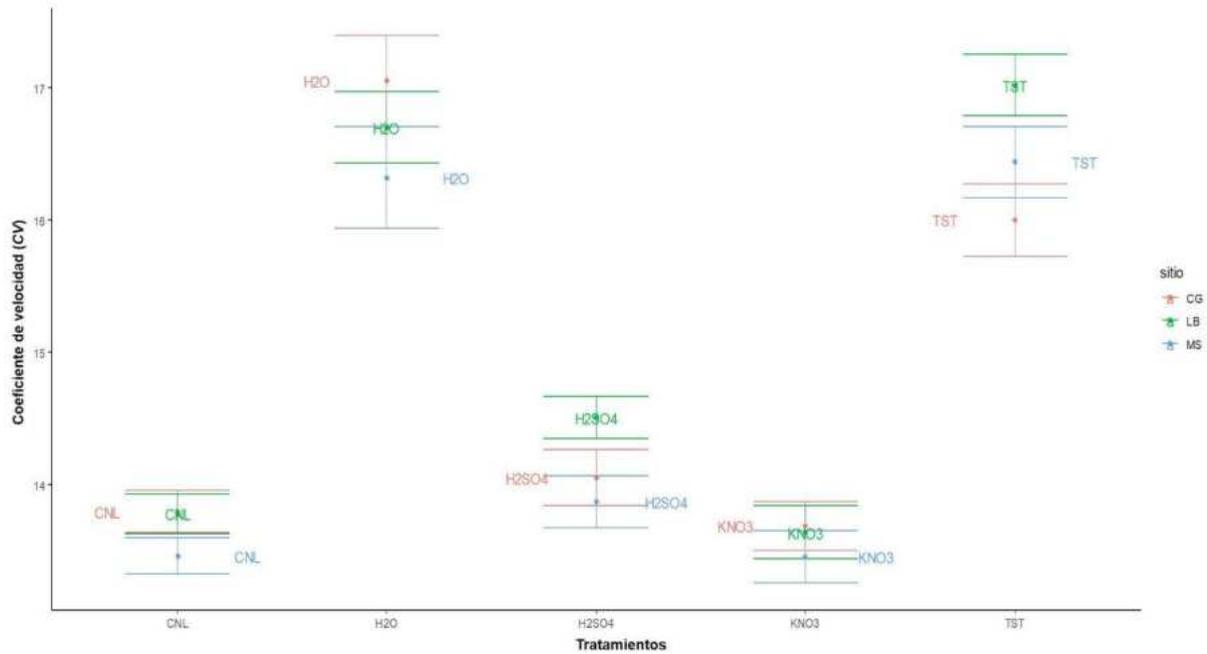


Figura 22. Valores del coeficiente de velocidad (CV) para cada tratamiento en contraste con cada sitio.

```

$tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
H2O-CNL  3.01587879  2.48741769  3.54433988  0.0000000
H2SO4-CNL  0.46478788 -0.06367321  0.99324897  0.1133987
KNO3-CNL -0.08524242 -0.61370352  0.44321867  0.9917778
TST-CNL   2.81057576  2.28211466  3.33903685  0.0000000
H2SO4-H2O -2.55109091 -3.07955200 -2.02262982  0.0000000
KNO3-H2O -3.10112121 -3.62958231 -2.57266012  0.0000000
TST-H2O  -0.20530303 -0.73376412  0.32315806  0.8202543
KNO3-H2SO4 -0.55003030 -1.07849140 -0.02156921  0.0369024
TST-H2SO4  2.34578788  1.81732679  2.87424897  0.0000000
TST-KNO3  2.89581818  2.36735709  3.42427927  0.0000000

$sitio
      diff      lwr      upr    p adj
LB-CG  0.2133636  -0.1375666  0.5642939  0.3234693
MS-CG -0.2079636  -0.5588939  0.1429666  0.3420276
MS-LB -0.4213273  -0.7722575  -0.0703970  0.0140618
    
```

Figura 23. Prueba de Tukey para el coeficiente de velocidad (CV).

6.3.1.4 Especies de *Agave*

Los coeficientes de velocidad más altos fueron para los tratamientos H₂O y TST al primer día de la germinación (Figura 24). Por otro lado, los valores menores fueron para los tratamientos H₂SO₄ y KNO₃ en un periodo de tres días (Figura 24) en las especies *A. funkiana*, *A. garciae-mendozae*, *A. mitis*, *A. striata*, *A. mapisaga*, y *A. salmiana*, mientras que para las especies *A. heteracantha*, *A. americana* y *A. applanata* en un periodo de cuatro. En las especies el grupo control presentaron valores similares en un periodo de tres días excepto para *A. garciae-mendozae* que fue al primer día (Apéndice 4).

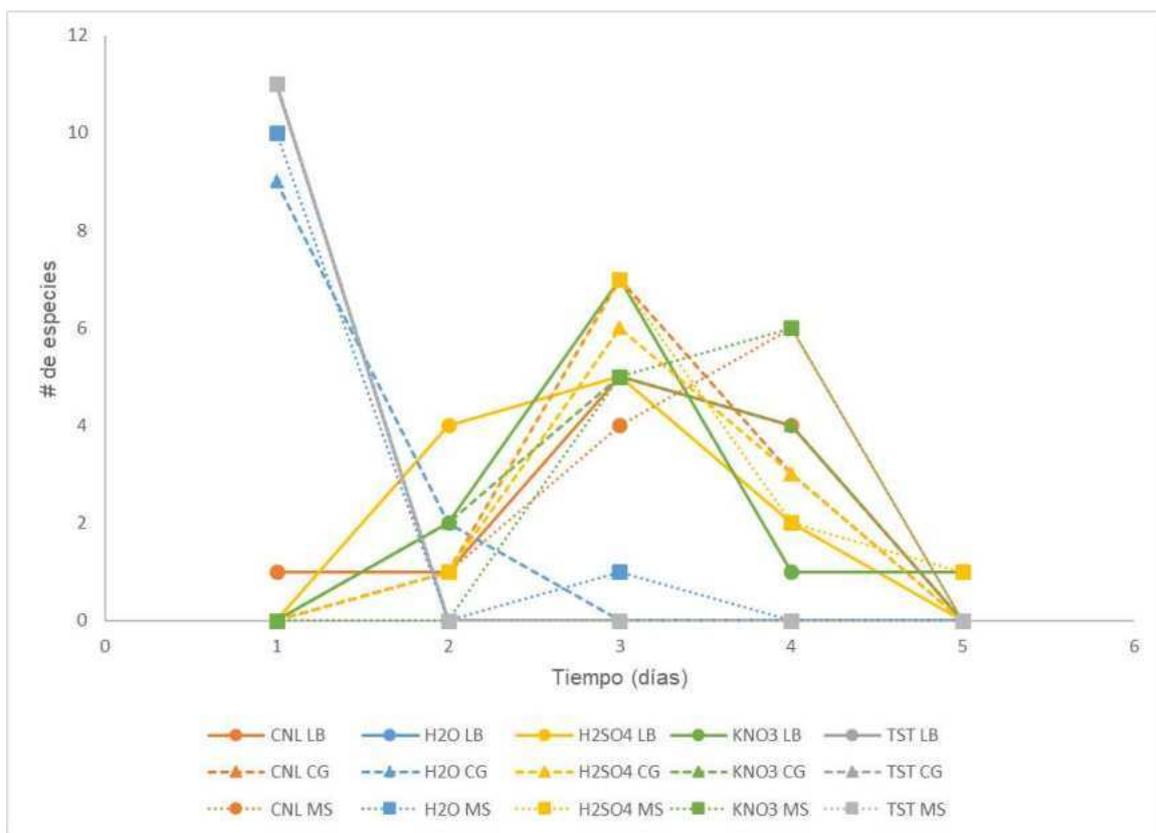


Figura 24. Velocidad de la germinación por tratamiento respecto al tiempo.

7. DISCUSIÓN

7.1 Distribución

En el estudio de Magallán-Hernández & Hernández-Sandoval (2000) registran 12 especies para el municipio de Cadereyta. Que son *A. americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. celsii*, *A. doctorensis*, *A. gentryi*, *A. heteracantha*, *A. lechuguilla*, *A. mapisaga*, *A. salmiana*, *A. striata* y *A. xylonacantha*.

Por otro lado, Thiede (2020) registra adicionalmente a las especies— *A. albomarginata*, *A. difformis*, *A. filifera*, *A. garciae-mendozae* y *A. mitis* sumando un total de 17 especies.

En el presente trabajo fueron registradas 20 especies, de las cuales 19 de estas coinciden con los datos de distribución de los anteriores trabajos mencionados, siendo la especie *A. macroculmis* un nuevo registro para el municipio; esto se debe a que Thiede (2020) registra a la especie como una sinonimia de *A. montana* mientras que Gentry (1982) lo registra como sinonimia para *A. gentryi*.

El bosque de *Juniperus* de acuerdo con Zamudio *et al.*, 1992 se encuentra con una clara prevalencia en algunos lugares de la sierra El Doctor, donde se encuentran a manera de transición entre matorrales y bosque de encino, pino o pino-encino. Las comunidades arbustivas se encuentran compartidas con estas transiciones como es el caso de *Agave*, donde se puede contrastar en el matorral crasicaule que también registro diez especies. Ambos tipos de vegetación comparten a las especies *A. difformis*, *A. lechuguilla*, *A. striata* y *A. salmiana* aunque en este último puede jugar un papel importante en la distribución el hecho de ser una especie cultivada. Tanto para los bosques de pino-encino, encino y pino las especies *A. lechuguilla*, *A. macroculmis*, *A. mitis* y *A. salmiana* se encuentran dentro de las zonas de transición con el bosque de *Juniperus*. Por lo tanto, estas zonas resultan fundamentales para una mayor distribución de las especies.

Por otro lado, el matorral rosetófilo corresponde a una comunidad vegetal con áreas de ocupación pequeñas, donde especies del género *Dasyilirion* y *Agave* son comunes y de colonias muy densas. Este tipo de vegetación es muy pobre en especies debido a que se desarrolla en condiciones muy particulares como la pendiente donde la erosión hídrica es evidente y no permite el desarrollo de otras

plantas. En este tipo de vegetación se distribuyen tres especies: *A. lechuguilla*, *A. striata* y *A. funkiana*. *A. striata* tiene una amplia distribución para el municipio tanto en zonas de transición como en los matorrales crasicaules y submontanos. Sin embargo, *A. funkiana* solo se distribuye en las pendientes pronunciadas de la zona noreste de Cadereyta particularmente en la cuenca del río Moctezuma.

La mayor riqueza del género se concentra en tipos de clima que representan humedad baja, temperaturas altas y oscilaciones grandes en el transcurso de las estaciones en relación con la presencia de serranías. El municipio se encuentra localizado en distintas provincias que juegan un papel importante en la distribución de los climas, efectos como la sombra orográfica, la altitud y la humedad proveniente de la provincia costera del Golfo dentro del municipio dan como resultado un mosaico de paisajes y condiciones climáticas que facilitan el establecimiento de las especies del género (García-Mendoza, 1995; Rzedowski, 1993)

Las especies de *Agave* se distribuyen a lo largo de las montañas de México: Sierra Madre Oriental, Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur además de las zonas de transición con el Altiplano Mexicano. De acuerdo con García-Mendoza (1995) el subgénero *Littaea* se distribuye en latitudes superiores a los 1000 m y hasta los 2500 m, tanto en bosques de pino-encino, matorrales xerófilos y las partes más secas del Altiplano Mexicano como en el caso de *A. lechuguilla*. La Sierra Madre Oriental representa un área particularmente rica en especies del subgénero *Littaea* con base en el área que ocupa el municipio de Cadereyta, esta provincia está representada en gran parte de su territorio, lo que resulta en un total de 13 especies.

Por otro lado, el subgénero *Agave* se distribuye desde las dunas costeras hasta bosques de pino-encino que pueden llegar hasta los 2900-3000 m. Desarrollándose en áreas de transición entre sierras y lomeríos de la Sierra Madre Oriental, la Faja Volcánica Transmexicana y el Altiplano Mexicano. En el municipio, las especies de este subgénero tales como *A. salmiana*, *A. asperrima*, *A. mapisaga* y *A. americana* se distribuyen justo en la zona de transición entre las tres provincias (Figura 10 y 13). Este subgénero tiene mayor distribución ya que coloniza un mayor número de ambientes respecto al subgénero *Littaea* (García-Mendoza, 1995).

7.2 Viabilidad de las semillas

En términos generales, las especies analizadas presentaron patrones normales en la viabilidad (Peña-Valdivia *et al.*, 2006; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012) confirmando así que las especies de *Agave* tienen bastantes semillas viables y que son especies con alto potencial para ser reproducidas sexualmente para que la diversidad genética no se pierda con el manejo.

La especie *A. americana* presentó uno de los mayores porcentajes de viabilidad (Figura 19), a pesar de ser una especie con alto valor ya que al ser una especie cultivada mayormente por reproducción asexual (Gentry, 1982; Thiede, 2020) no ha presentado problemas en la germinación, contrario a otras especies como *A. angustifolia*, que actualmente presenta estos problemas debido a que es una especie con alta importancia económica y su manejo conlleva a una escasa reproducción sexual (Cárdenas-Arrazola & Robledo-Paz, 2019). El mismo patrón se observó para otras especies como *A. mapisaga* y *A. salmiana* (Figura 18).

Para las especies silvestres se registraron niveles de viabilidad altos (Figura 18) excepto para las especies *A. heteracantha* y *A. striata*. En el estudio de Ramírez-Tobías *et al* (2012) se encontraron porcentajes de viabilidad altos para la especie *A. striata*, contrario a este estudio que presentó los valores más bajos. Esto puede deberse al ejemplar colectado en campo, ya que presentó un crecimiento de la inflorescencia anormal (Figura 25) que puede ser un factor determinante en la viabilidad de semillas.



Figura 25. Inflorescencia colectada de *Agave striata* para análisis germinativos. a) Crecimiento normal. b) Crecimiento anormal.

7.3 Pruebas pregerminativas

Los tratamientos de escarificación física para este estudio resultaron ser más eficaces que los tratamientos de escarificación química. Al tratarse de semillas con la testa delgada, no necesitan de algún químico que ayude a adelgazar la testa, ya que son semillas adaptadas a responder con rapidez a las condiciones climáticas (Thiede, 2020).

7.3.1 Porcentaje de germinación

Las plantas de *Agave* producen una cantidad alta de semillas, que les pueden asegurar su éxito reproductivo. Slauson (2002) calculó que las especies del subgénero *Littaea* pueden liberar de 4,000 a 142,725 semillas viables. Mientras que en otras especies como *A. mapisaga* puede producir en promedio 42,000 semillas viables. El número de semillas estimado en este trabajo para especies del subgénero *Littaea* fue de 13,251 mientras que para el subgénero *Agave* fue 22,012 semillas, correspondientes a los rengos antes reportados (Tabla 5).

En este trabajo los porcentajes de germinación fueron entre 65% y 95%. Los tratamientos H₂O y CNL fueron los más eficaces, indicando que, al no poseer periodos de dormancia largos y con germinación rápida las semillas pueden germinar en grandes cantidades y no necesitar algún tipo de tratamiento pregerminativo, sino que son plantas que dependen completamente de las condiciones ambientales. Nobel (1992) determinó que la duración del periodo de lluvias es un factor limitante para el establecimiento de las plántulas, ya que la semilla depende del agua para poder germinar. Por lo tanto, las semillas pueden manejarse con solo agua o remover un trozo de la testa para una rápida germinación.

La especie *A. salmiana* ha sido cultivada a gran escala para la producción de pulque, sin embargo, en los últimos años la demanda ha disminuido y se ha dejado de sembrar maguey pulquero a gran escala, que puede ser un factor importante para que la germinación de sus semillas no se ha visto afectada (Flores-Morales *et al.*, 2008).

A. mapisaga fue la especie cultivada con un menor porcentaje de germinación en todos los tratamientos. Mora-López *et al.*, 2011 reportan a la especie con indicios más claros de domesticación respecto a *A. salmiana* que se encuentra en una posición intermedia, debido a su gran variabilidad morfológica y ecológica.

7.3.2 Coeficiente de velocidad

La velocidad de germinación en las especies fue de uno a cinco días, este patrón responde al registro en el estudio de Ramírez-Tobías *et al.*, 2012, al igual que la temperatura, estableciendo una temperatura óptima de 25°C (Figura 24). De

acuerdo con Pavliscak *et al.*, (2015) las semillas de *Agave* pueden germinar en condiciones de luz y oscuridad, Ramírez-Tobías *et al.*, (2016) encontraron temperaturas óptimas de germinación en los 25°C, como las condiciones establecidas en la cámara germinativa, lo que dio resultados favorables y significativos en la velocidad de germinación (grupo H₂O, en CG). El sitio con menor resultado en cuanto a la velocidad fue para MS con una temperatura promedio de 24.63°C, donde se registró la menor temperatura promedio. Además de la temperatura más baja también puede deberse a que la humedad es uno de los factores más limitantes en estas condiciones ya que con el sol pueden perderse grandes cantidades de agua en contraste con una cámara germinativa por lo que puede influir en la velocidad de la germinación, dado a que las especies de *Agave* dependen de la época de lluvias para la germinación (Nobel, 1992; Thiede, 2020).

8. CONCLUSIÓN

El conocimiento sobre la cantidad de especies que habitan dentro del municipio de Cadereyta de Montes fue actualizado, de una lista de 19 a 20 especies, confirmando que el municipio presenta la mayor cantidad de especies dentro del estado de Querétaro.

Conocer la distribución de las especies del género *Agave* es fundamental para establecer estrategias en cuanto al manejo y conservación de las especies. Sin embargo, existe la carencia de datos para la mayoría de las especies ya que al ser plantas de difícil procesamiento de herbario son escasamente colectadas, sobre todo aquellas especies silvestres.

El municipio de Cadereyta es rico en especies del género debido a su compleja heterogeneidad ambiental y sus zonas de transición tanto en tipos de vegetación como en su topografía, lo que conlleva a una mayor colonización de magueyes.

Las especies de *Agave* analizadas presentaron altos porcentajes de viabilidad por lo que son especies con alto potencial para ser reproducidas sexualmente. En las semillas resulto ser más eficaz el tratamiento físico de remoción de la testa (TST) y también las semillas tratadas con agua (H₂O), presentando los más altos porcentajes de germinación. Además de que las semillas de las especies analizadas en esta tesis germinan a velocidades altas, en periodos de uno a cinco días. Las semillas de las especies analizadas poseen características para ser susceptibles al manejo, tanto especies silvestres como cultivadas.

9. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J. B., Enríquez del V. J. R., Rodríguez O.G., Granados S. D & Martínez, C. B. 2014. El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del valle de México. *Revista Mexicana de Agrosistemas*, 1:106-120.
- Ahumada -Solórzano, M. 2021. Manual de Manejo de Residuos Peligrosos (RP) para laboratorios de docencia e investigación. Facultad de Ciencias Naturales. pp 18.
- Alsemgeest, W., Roosbroeck, J. & Walderveen, T. 2007. *Agave xylonacantha* en *Agave heteracantha*. *Succulenta* 86(5): 225–235, illis
- Álvarez-Ríos, G.D., Figueredo-Urbina, C. J. & Casas, A. 2020. Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Revista Etnobiológica*. Vol. 18, Núm. 2. pp.3-23.
- Arizaga, S., Ezcurra, E., Peters, E., Ramírez, F. & Vega, E. 2000. Pollination ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican tropical desert. II. The role of pollinators. *American Journal of Botany*. 87:1011 pp.
- Calderón de Rzedowski, G. y Rzedowski, J. 2010. Flora fanerogámica del valle de México. Tlalpan, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cárdenas-Arrazola, L. & Robledo-Paz, A. 2019. Propagación de *Agave salmiana* Otto ex salm Dick en sustratos y dosis de fertiirrigación. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. pp. 190.
- Castillo-Hernández, H. & Treviño-Carreón, J. 2014. Biología floral de *Agave gentryi* Ullrich (Agavaceae) en la localidad de La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas. *Ciencia UAT*, vol. 4, núm 2. pp 62-66.
- Colunga-García Marín, P., Estrada-Loera, E. & May-Pat, F. 1996. Patterns of morphological variation, diversity, and domestication of wild and cultivated populations of *Agave* in Yucatán, México. *Amer. J. Bot.* 83(8): 1069–1082.
- Delgado-Lemus, A., Casas, A. & Téllez, O. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico:

- Bases for sustainable use of non-timber forest products. J. Ethnobiol. Ethnomed. 10(1): 63, 12 pp.
- Eguiarte, L. E. & Scheinvar, E. 2008. Agaves y cactáceas de Metztitlán: Ecología, evolución y conservación. sine loco (MX): Unpublished preliminar versión.
- Flores-Morales, A., Castañeda-Hidalgo, E., Sánchez-Pérez, Francisco J. & Ruiz-Luna, J. 2008. Mecanismos de conservación y uso del maguey pulquero *Agave salmiana* en el altiplano mexicano. Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. 10 pp.
- Galván-Villanueva, R & Hernández-Sandoval, L. 2002. *Agave garciae-mendozae*, a new species from central México. Cactus and Succulent Journal 74: 188-191.
- García-López, J. I., Ruiz-Torres, N. A., Lira-Saldívar, R. H., Vera-Reyes, I. & Méndez-Arguello, B. 2015. Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. Centro de Investigación en Química Aplicada. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 129-141.
- García-Mendoza, A. J. 1995. Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México. In: Linares, E. & al. (eds.): Conservación de plantas en peligro de extinción: Diferentes enfoques. pp. 51–75.
- García-Mendoza, A. J. 2002. Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico. Cact. Succ. J. (US) 74(4): 177–187.
- García-Mendoza, A. J. 2007. Los agaves de México. Ciencias. Núm. 087. 14-23 pp.
- García-Valenzuela, M. A. 2011. Etnoecología de los agaves (Agavaceae) en la comunidad Ngiwa (Popoloca) de los reyes Metzontla, Puebla, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. pp. 177.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona. Press, Tucson.

- González-Zertuche, L. & Orozco-Segovia, A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. Bol. Soc. Bot. México 58: 15-30.
- Greulich, M. 2012. *Agave montana* Villareal and *Agave gentryi* Ullrich. Am Standort im mexikanischen Bergland der Sierra Madre Oriental. Wüstengarten 3: 35–55, ill.
- Greulich, M. 2016. Vergleichende Untersuchungen zu *Agave lechuguilla* Torrey and deren Hybriden *Agave glomeruliflora* (Engelmann) Berger sowie *Agave gracilipes* Trelease. Wüstengarten 6: 19–39, ill.
- Gutiérrez-Hernández, G. F., Flores-Gómez, E., García-Mendoza, M. F. Ortiz-Hernández, Y. D. & Mendoza-Ibarra, O. F. 2018. Biología de la germinación de semillas de *Agave mezcalero* Tobalá. Congreso internacional de investigación e innovación 2018. pp. 1994-2001.
- Hernández-Sandoval, L. & Magallán, F. 2014. *Agave doctorensis* (Agavaceae), a new species from Sierra El Doctor, Querétaro, México. Brittonia. 67. 1-4.
- Heyduk, K., McKain, M. R., Lalani, F. & Leebens-Mack, J. 2016. Evolution of a CAM anatomy predates the origins of Crassulacean Acid Metabolism in the Agavoideae (Asparagaceae). Molec. Phylogen. Evol. 105: 102–113.
- INEGI. 2018. Datos Básicos de la Geografía de México. Obtenido de: <https://www.inegi.org.mx/>
- Jacobi. 1864. *Agave asperrima* Jacobi, Hamburguer Garten-Blumenzeitung. 20: 561
- José Jacinto, R. & García Moya, E. 2001. Remoción cuticular (“mixiote”) y desarrollo foliar en los Agaves Pulqueros (*Agave salmiana* y *A. mapisaga*). Bol. Soc. Bot. México 66: 73–79.
- Kimnach, M. 1995. A new *Agave* from Sinaloa, México: *A. filifera* ssp. *microceps*. Cact. Succ. J. (US) 67(5): 306–310, ill.
- Labrada, R. 2005. Manejo de malezas para países en desarrollo. Addendum I, Estudio FAO. Producción y Protección Vegetal. 403 pp.

- López-Hernández, J. L. 2015. Métodos para propagar plantas de *Agave americana* L. por medio de semillas. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. pp. 105.
- López-Pujol, J., Guillot-Ortiz, D., Nájera-Quezada, P., Neus, N. & Piet Van Der, M. 2016. Primera cita del endemismo mexicano *Agave difformis* A. Berger (Agavaceae) fuera de su área de distribución nativa. Acta Botánica Mexicana 115:9-25.
- Magallán-Hernández, F. & Hernández-Sandoval, L. 2000. La familia Agavaceae en el estado de Querétaro. Bol. Soc. Bot. México. 66:103-112.
- Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J., Peña-Valdivia, C. & Aguirre-Rivera, J. R. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género *Agave*. Agrociencia, 45(4), 465-477.
- Morrone, J. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. Rev. Mex. Biodiv, vol.90.
- Nobel, P. & Quero, E. 1986. Environmental productivity indices for a chihuahuan desert plant, *Agave lechuguilla*. Ecology. 67(1). pp 1-11.
- Nobel, P. S. 1992. Annual variations in flowering percentage, seedling establishment, and ramet production for a desert perennial. Int. J. Pl. Sci. 153(1): 102–107.
- Nobel, P. 1996. Ecophysiology of roots of desert plants, with special emphasis on Agaves and cacti. Plant Roots: The Hidden Half. 2 New York. pp 823-844.
- North, G. B. & Baker, E. A. 2007. Water uptake by older roots: Evidence from desert succulents. HortScience 42(5): 1103–1106.
- North, G. B., Brinton, E. K. & Garrett, T. Y. 2008. Contractile roots in succulent monocots: Convergence, divergence and adaptation to limited rainfall. Pl. Cell Environm. 31: 1179–1189.
- Pavlisca, L. L., Fehmi, J. S. & Smith, S. E. 2015. Assessing emergence of a long-lived monocarpic succulent in disturbed, arid environments: Evaluating abiotic

- factors in effective *Agave* restoration by seed. *Arid Lands Res. Manag.* 29: 98–109.
- Peña-Valdivia, C. B., Sánchez-Urdaneta, A. B., Aguirre, J., Trejo, C., Cardenas, E & Villegas, A. 2006. Temperature and mechanical scarification on seed germination of “maguey” (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (. *Sed Science & Technology.* 34: 47-56.
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., Aguirre, R., Reyes-Agüero, J. A., Sánchez-Urdaneta, A. B. & S Valle-Guadarrama, S. 2011. Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with an extensive history of human use. *Plant Species Biol* (in press).
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., Aguirre, J. R., Reyes-Agüero, J. A., Sánchez-Urdaneta, A. B. & Valle G., S. 2012. Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Pl. Spec. Biol.* 27(2): 124–137.
- Ramírez-Tobías, H. M., Niño Vásquez, R., Aguirre Rivera, J. R., Flores, J., De-Nova Vázquez, J. A. & Jarquin Gálvez, R. 2016. Seed viability and effect of temperature on germination of *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* and *A. mapisaga*; two useful *Agave* species. *Genet. Resources Crop Evol.* 63: 881–888.
- Rendón-Garcini, R. 1990. Dos haciendas pulqueras en Tlaxcala, 1857-1884. Universidad Iberoamericana, Departamento de historia. México. 236 pp.
- Rocha, M., Good-Ávila, S. V., Molina-Freaner, F., Arita, H. T., Castillo, A., García-Mendoza, A., Silva-Montellano, A., Gaut, B. S., Souza, V. & Eguiarte, L. E. 2006. Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Monocots. Comparative biology and evolution excluding Poales.* 22: 329–344.
- Rodríguez, L. 2000. Tratamientos pregerminativos para algunas especies forestales nativas de la Región Huerta Norte de Costa Rica. In *Simposio avances en la producción de semillas forestales en América Latina.* (2000, Managua Nic).

- Ruiz-García, Ma. G. 2014. Variación de la fotosíntesis CAM en dos especies de *Agave* por el desarrollo y el ambiente. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. pp 52.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. Chapter 3. Pp. 129-144. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot, y J. Fa (eds). Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. Ed. Oxford Univ. Press.
- Sánchez-Soto, B. H., Pacheco-Aispuro, E., Lugo-García, G. A. & García-Moya, E. 2017. Métodos de escarificación en semillas de *Guaiacum coulteri*, especie amenazada del bosque tropical caducifolio del norte de Sinaloa, México. *Gayana Bot.* 74(2):262-268.
- Secretaria de Desarrollo Sustentable. 2017. Plan de ordenamiento ecológico local de Cadereyta de Montes, Querétaro. Gobierno municipal. pp. 171.
- Silva-Montellano, A. & Eguiarte, L.E. Geographic patterns in the reproductive ecology of *Agave lechuguilla* (Agavaceae) in the Chihuahuan desert. I. Floral characteristics, visitors, and fecundity. *American Journal of Botany.* 2003; 90:377p.
- Slauson, L. A. 2002. Insights on the pollination biology of *Agave* (Agavaceae). *Haseltonia* 8: 10–23.
- Slauson, L. A. 2002. Effects of fire on the reproductive biology of *Agave palmeri* (Agavaceae). *Madroño* 49(1): 1–11.
- Sobrevilla-Solís, J. A., López-Herrera, M., López-Escamilla, A. L. & Romero-Bautista, L. 2013. Evaluación de diferentes tiramientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Wild) M. C. Johnston. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas.* pp. 83-97.
- Terracciano, A. 1885. Primo contributo ad una monografia delle *Agave*. Napoli (IT): Stabilimento Tipografico Barnaba Cons. di Antonio.
- Thiede, J. 2020. *Agave*. Agavaceae. En U. Eggli y R. Nyffeler (Eds.). *Illustrated handbook of succulent plants: Monocotyledons*, pp 21–311.

- Torres, I., Casas, A., Vega, E., Martínez-Ramos, M. & Delgado-Lemus, A. 2015. Population dynamics and sustainable management of mescal Agaves in Central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Econ. Bot.* 69(1): 26–41.
- Trejo, L., Alvarado-Cárdenas, L. O., Scheinvar, E. & Eguiarte, L. E. 2016. Population genetic analysis and bioclimatic modeling in *Agave striata* in the Chihuahuan Desert indicate higher genetic variation and lower differentiation in drier and more variable environments. *Amer. J. Bot.* 103(5): 1020–1029.
- Trejo-Salazar, R. E., Scheinvar, E. & Eguiarte, L. E. 2015. ¿Quién poliniza realmente los agaves? Diversidad de visitantes florales en 3 especies de *Agave* (Agavoideae: Asparagaceae). *Rev. Mex. Biodiv.* Vol.86 no.2.
- Trelease, W. 1912. Revision of the Agaves of the Group Applanatae. *Ann. Rep. Missouri Bot. Gard.* 22: 85–97, tt. 73–99.
- Ullrich, B. 1990. *Agave macroculmis* Todaro en *Agave gentryi* Ullrich spec. nov. *Succulenta* 69(9): 190–193, (10): 210–214.
- Varela, S. A. & Arana, V. 2011. Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Serie técnica: Sistemas Forestales Integrados. Área forestal-INTA EEABariloche. pp. 10.
- Vázquez-García, J. A., Cházaro-Basáñez, M. & Muñiz-Castro, M. A. 2010. Nuevas áreas de alta diversidad de agaves, hallazgos de nuevos agaves mexicanos y nuevos agavarios en el Occidente de México. Universidad de Guadalajara. CUCBA.
- Villareal, A. 1996. *Agave montana*. 17: 191.
- Viveros-Viveros, H., Hernández-Palmeros, J. D., Velazco-García, M. V., Robles-Silva, R., Ruiz-Montiel, C., Aparicio-Rentería, A. Martínez-Hernández, Ma. J., Hernández-Villa, J. & Hernández-Hernández, M. A. 2015. Análisis de semilla, tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq) Griseb. Y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol. 6. (30): 55-65.

- Zamudio, S., Rzedowski, J., Carranza, E. & Calderón de Rzedowski, G. 1992. La Vegetación del Estado de Querétaro. Instituto de Ecología, A.C., Pátzcuaro.
- Zizumbo-Villarreal, D., Rosales-Adame, J. J. & Colunga-García Marín, P. 2013. Sustainability of the traditional management of *Agave* genetic resources in the elaboration of mezcal and tequila spirits in western México. *Genet. Resources Crop Evol.* 60(1): 33–47.

10. APÉNDICES

Apéndice 1. Descripción botánica de las especies de *Agave*

Subgénero *Littaea*

Grupo *Littaea*

Agave filifera Salm-Dyck

Roseta densa, surculosa, formando grupos grandes. De muchas hojas, lanceoladas, rectas, gruesas, más anchas en el medio, acuminadas, engrosadas y convexas arriba y abajo desde la base hasta en medio, lisas, de color verde, con huellas blancas de la yema central, márgenes finamente filiferos. Espina terminal plana arriba, redondeada abajo, grisácea. Inflorescencia espicata, pedúnculo densamente cubierto con brácteas recurrente caudado largo, afilada, densamente florecida. Flores mayormente geminadas y curvas hacia afuera, punta rojiza. Fruto oblongo-elipsoide a oblongo-obovoide, agudo. Semilla en forma de media luna (Kimnach, 1995).



Figura 26. *Agave filifera*.

Grupo *Heteracanthae*

Agave albomarginata Gentry

Roseta abierta con la hoja larga, lanceolada-lineal, rígida a sinuosa, ápice largo acuminado, convexo por debajo, casi plano por encima, algo aquillado hacia la base, de cloro verde grisáceo, a menudo con una raya media más pálida, márgenes delgados, córneos, algo friables, fácilmente separables, de color blanco a gris, rara vez marrones; dientes marginales en la mitad de la hoja blancos con el margen con puntas a veces rojizas o gris claro, delgados, deltoides, recurvados, remotos, separados por 30-50 mm, hacia la base de la hoja romos, separados 10-20 mm, distales de la hoja sin dientes. Espina terminal subulada, con un surco redondeado arriba, blanca a gris claro con la punta oscura, finamente decurrente. Inflorescencia espicata, pedúnculo corto y grueso bracteolado, las brácteas cartáceas estrechamente deltoides, flores laxas, de color amarillo a amarillo verdoso (Gentry, 1982; Hernández-Sandoval *et al.*, 2016).



Figura 27. *Agave albomarginata*.

Agave difformis A. Berger

Habita en suelos calcáreo-rocosos en las zonas desérticas de la Sierra Madre Oriental, en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro. En elevaciones entre 1560 y 1875 m (López-Pujol *et al.*, 2016). Son polimórficos, forman rosetas cortas, rectas, falcadas o sinuosas, de color verde oscuro a verde amarillento, márgenes rectos o repandeados, predominantemente gris claro; dientes marginales

de color marrón oscuro a gris, a veces con dientes intermitentes más pequeños. Espina terminal cónica-subulada, de color marrón oscuro a gris. Inflorescencia espicata, con un pedúnculo ceroso glauco con brácteas delgadas y angostas. Flores de verde claro a amarillas, tubo ensanchado. Lóbulos erectos, iguales, con un capuchón pronunciado en el ápice (Gentry, 1982).

Cuando los frutos de una inflorescencia se abren, liberan unas 23,100 semillas viables dispersadas por el viento. Los murciélagos nocturnos que se alimentan de néctar son los visitantes florales más importantes. La especie muestra niveles relativamente altos de diversidad genética con poca diferenciación entre las poblaciones, posiblemente generada por el alto flujo de genes proporcionado por los polinizadores (Eguiarte & Scheinvar, 2008).



Figura 28. *Agave difformis*.

Agave doctorensis L. Hern. & Magallán

Roseta abierta, surculosa, con hoja erecta, lanceolada a estrechamente elíptica, rígida, lisa, de color verde pálido con huellas de las próximas hojas internas, márgenes córneos, fácilmente despegados, recto, de color rojizo, cubierto de estrechas líneas de cera que pueden desprenderse con la edad; dientes marginales

deltoides o ganchudos, bases anchas, retrorsas, quebradizas, planas, separadas 15-45 mm, abundantes cerca de la base, ausentes cerca del ápice de la hoja, con pequeños dientes intersticiales, grisáceos u ocasionalmente sin dientes. Espina terminal subulada, curvo a recto, acanalado arriba ligeramente decurrente. Inflorescencia racimosa-paniculada, pedúnculos ampliamente acuminados, papiráceo a cartáceo, con brácteas de color verdoso, con punta de espina. Inflorescencia compacta, cónica, aplanada dorsiventralmente, con flores de color verde amarillento. Fruto generalmente oblongo, de color café oscuro con perianto que persiste casi hasta la madurez. Semillas en forma de media luna a deltoides (Hernández & Magallán, 2014).



Figura 29. *Agave doctorensis*.

Agave funkiana K. Koch & C. D. Bouché

Rosetas pequeñas a medianas, de color verde amarillento a verde oscuro, acaulescentes, abiertas, radiales con retoños libres. Hojas lineares, firmes, rectas o algo falcadas, patulosas, cóncavas en la parte superior, frecuentemente con una franja media pálida, engrosadas convexas en la parte inferior, la base se junta ampliamente, de margen córneo delgado, de color marrón a gris, casi recto, firme, con dientes delgados regulares moderadamente dirigidos hacia abajo, unos pequeños dientes intersticiales irregulares; espina cónica-subulada, con un surco

angosto a abierto arriba, marrón a blanco; espiga delgada, glauca, con flores laxas en la mitad superior del eje, las pequeñas brácteas arriba aparentemente caducas; flores de color verde glauco pálido, sobre pedicelos dicotómicos. Semillas gruesas, de forma muy variable, onduladas en las caras, muesca hiliar grande (Gentry, 1982).

Agave garciae-mendozae Galván & L. Hern.

Roseta solitaria o algo cespitosa. Abiertamente extendidas, subcaulescente; con hojas de color verde a verde glauco, lanceoladas, carnosas, delgadas y flexibles en la mitad superior, aplanadas o ligeramente cóncavas. El margen corneo, continuo, de cloro gris a marrón rojizo oscuro, fácilmente separable. Los dientes variables, rectos a curvos, deltoides, aplanados, grises con punta marrón rojiza; espina terminal cónica a subulada, gris a veces algo refleja, ampliamente acanalada en la superficie superior y aquillada en su parte inferior. Inflorescencia de 3.2 a 3.5 de altura, pedúnculo rojizo a verde glauco, brácteas deltoideas largas, cartáceas parecidas al papel, espina terminal rígida. Flores de color verde claro a verde amarillento y algo glaucas con anteras amarillas o amarillo verdosas, cápsulas oblongas u oblongo-elipsoide, cortamente apiculadas; semillas semicirculares, negras, muesca hiliar poco profunda (Galván-Villanueva & Hernández-Sandoval, 2002)



Figura 30. *Agave garciae-mendozae*.

Agave heteracantha Zucc.

Plantas acaulescentes de rosetas cespitosas. Hojas mayormente erectas, de color verde claro a amarillento, sin huellas de yemas, linear-lanceolada, rígida, plana a cóncava hacia el ápice y convexa hacia la base; márgenes ondulados a crenados, no filíferos, que no se desprenden fácilmente, notoriamente armados, dientes simples u ocasionalmente dobles; espina apical rojiza a grisácea, subulada. De inflorescencia espigada, densamente florecidas en la mitad distal; brácteas caducas, aciculares. Flores erectas de color amarillo verdoso. Cápsulas sésiles o de pedicelo corto, oblongas o globosas, ápice en forma de pico (Alsemgeest *et al.*, 2007).



Figura 31. *Agave heteracantha*.

Agave lechuguilla Torr.

Se distribuye a lo largo del desierto Chihuahuense, desde los estados del norte de México como Chihuahua y Coahuila hasta Hidalgo. Esta es la especie de *Agave* dominante en el desierto de Chihuahua y un componente característico de varias comunidades del desierto (Nobel & Quero, 1986). Es una roseta acaulescente, bastante abiertamente cespitosa, de hojas linear a lanceoladas en su mayoría ascendentes a erectas, a veces extendidas, profundamente gruesas, rígidas, profundamente convexas y profundamente acanaladas por encima, de color verde

claro a verde amarillento, a veces marcadas con un verde más oscuro, márgenes rectos y continuos, de color marrón claro a gris, fácilmente separables de las hojas secas. Dientes marginales de color café o mayormente gris claro, espina terminal cónica a subulada, fuerte y de color grisáceo. Inflorescencia espicata con el pedúnculo generalmente glauco. Flores campanuladas, poco profundas de color amarillento a verde. Por lo general, se reconoce fácilmente por su hábito de retoños amplios y hojas estrechas con dientes inclinados hacia abajo en márgenes rectos. Antiguamente, era una fuente importante de fibras duras conocidas como “istle” o “ixtle”. El crecimiento de las hojas depende principalmente del estado del agua, y casi todo el desarrollo de las hojas ocurre durante el período húmedo. Los pedúnculos pueden crecer tan rápidamente como 20 cm/día y alcanzar su altura máxima en 3 a 4 semanas. La energía para la floración se almacena casi en su totalidad en las hojas. Los principales polinizadores son las polillas halcón nocturnas y dos especies de abejas grandes diurnas (Gentry, 1982).

Agave xylonacantha Salm-Dyck

Roseta abiertamente extendida, solitaria u ocasionalmente cespitosa. Hoja ensiforme-lanceolada, más bien rígida, más ancha en el centro, largamente acuminada, redondeada en la parte inferior, plana a cóncava en la parte superior, de color verde a verde amarillento, a veces glauco, con o sin un centro pálido, márgenes córneos, continuos, rectos entre las prominencias conspicuas remotas, pero serpenteando sobre las prominencias. Dientes marginales ampliamente aplanados, terminando gruesamente las amplias prominencias, frecuentemente con 3-5 puntas, de color gris claro. Inflorescencia espiciforme, pedúnculo con brácteas cartáceas, muy angosto. Flores de color verdoso a amarillo pálido. Las flores producen néctar entre las 22:00 y las 6:00 y son visitadas principalmente por murciélagos y abejas, también por esfíngidos, abejorros y colibríes (Alsemgeest *et al.*, 2007; Gentry, 1982).



Figura 32. *Agave xylonacantha*.

Grupo *Micracanthae*

Agave celsii Hook.

Rosetas perennes con derivaciones axilares formando grandes y densas aglomeraciones. Hojas ovadas, oblongas o espatuladas, ligeramente acuminadas, ascendentes a curvas, acanaladas, cóncava arriba, convexa abajo, carnosas, gruesas y suaves, de color verde a gris claro glauco, el margen recto a ondulado con dientes pequeños muy juntos a veces con crestas ciliadas, blanquecino a marrón rojizo; espinas débiles, aciculares, parduscas, decurrentes a lo largo del ápice de la hoja. Inflorescencia en forma de espiga, densamente bracteada y florecida, volviéndose laxa en el fruto; brácteas cartáceas, deltoides y persistentes; flores protándricas, carnosas, verdes por fuera, de color amarillo a rojizo o lavanda a púrpura por dentro, incluyendo pistilo y filamentos (Gentry, 1982).



Figura 33. *Agave celsii*.

Agave mitis Mart.

Roseta ramificada axilar, formando grupos grandes y densos. Las hojas ovadas, oblongas o espatuladas, ascendentes a curvadas hacia afuera, densamente carnosas y blandas, cortamente acuminadas, a veces onduladas, convexas en la parte inferior, acanaladas o cóncavas en la parte superior, de color verde a gris claro-glaucos, márgenes rectos a veces ondulados; dientes marginales pequeños, frecuentemente con dos puntas, a veces con crestas ciliadas, de color blanquecino a marrón rojizo, muy juntos. Espina terminal acicular, débil, de color parduzco, decurrente a lo largo de la punta de la hoja. Inflorescencia en espiga, pedúnculo denso, cartáceo, con brácteas deltoides. Flores carnosas, amarillo a rojizo o a veces lavanda a púrpura por dentro, tubo en forma de embudo. Fruto ovoide, de paredes gruesas, rugoso, marrón oscuro, picudo. Semillas semicirculares con ala marginal completa bien desarrollada (Terracciano, 1885). Se distingue por sus pequeñas rosetas compactas, hojas anchas y delicadamente denticuladas con dientes en su mayoría de dos puntas e inflorescencias densas y claviformes (Gentry, 1982).

La probabilidad de una flor para convertirse en fruto es del 43,9 %, y que al menos un óvulo de una flor se convierta en semilla es del 35 %. En promedio, cada inflorescencia desarrolla solo 51 frutos con 49 semillas viables cada uno. Los

principales visitantes florales son murciélagos y también abejas, abejorros, esfíngidos y colibríes (Eguiarte & Scheinvar 2008).



Figura 34. *Agave mitis*.

Grupo *Juncinae*

Agave striata Zucc.

Rosetas compactas, de tallo corto y muchas hojas, que a menudo forman grandes racimos densos por ramificación axilar, de color verde pálido a rojo o púrpura. Hojas lineales, estriadas, gruesas, muy rígidas, rectas a arqueadas, convexas arriba, lisas o escabrosas a lo largo de las quillas arriba y abajo, parduscas en el ápice debajo de la espina, el margen cartilaginoso, de color amarillo pálido, escabroso o minuciosamente aserrado; espina terminal subulada, redondeada por debajo y por encima, muy picante, de color marrón rojizo a gris oscuro; flores bastante laxas sobre un largo pedúnculo, las brácteas del pedúnculo de más o menos 12 cm de largo, con las brácteas florales más cortas que las flores, caducas. flores en su mayoría geminadas, tubulares, de color amarillo verdoso o rojo a púrpura con anteras de color bronce o pardusco; cápsulas trígonoas, de color marrón oscuro, truncadas en la base, apiculadas; semilla en forma de media luna, gruesa, especialmente en el lado curvo (Gentry, 1982).



Figura 35. *Agave striata*.

2.8.2 Subgénero *Agave*

Grupo *Agave*

Agave americana L.

Plantas medianas a grandes, de tallo corto, las rosetas son anchas; hojas lanceoladas, estrechadas sobre la base engrosada, planas o acanaladas o reflejas, acuminadas, de color gris claro, glaucas a verde claro, a veces jaspeadas; cutícula suave a ligeramente áspera; margen ondulado a crenado; dientes variables, las cúspides delgadas rectas a flexuosas o curvas, desde bases anchas y bajas, de color marrón a gris pruinoso; espina cónica a subulada, ligeramente acanalada arriba por la mitad de su longitud, de color marrón brillante a gris. Inflorescencias de 5 a 9 m de altura, de tallo delgado, recto y con brácteas triangulares más bien pequeñas, las panículas generalmente de contorno ovalado largo, más bien abiertas

con 15 a 35 ramas umbeladas extendidas en la parte superior. Flores pediceladas largas, delgadas, abriendo amarillas sobre ovario verdoso. Semillas semilunares a lacrimiformes, de color negro brillante. El hábitat es en gran parte artificial, ya que sus variedades se cultivan en varios climas distintos en todo el mundo (Gentry, 1982).



Figura 36. *Agave americana*.

Agave asperrima Jacobi

Roseta de hoja gruesa, lanceolada, rígida, extendida a recurvada, muy ancha en la base y constreñida arriba, largamente acuminada, convexa abajo, plana arriba pero profundamente acanalada en la parte inferior, escabrosa, generalmente de color verde claro a gris glauco, sin huellas de la yema central, márgenes a veces córneos a lo largo de la parte superior. Los dientes marginales generalmente desviados debajo de la mitad de las hojas, de color marrón a gris pruinoso, de bases ampliamente redondeadas. Espina terminal subulada a acicular, con un surco muy angosto en la parte superior, base escabrosa, marrón oscuro a negrozco, decurrente en el margen involuto de la hoja. Inflorescencia mayormente de 4 a 7 m de alto, paniculada, con el pedúnculo de forma triangular persistente, flores erectas

con las puntas de color amarillo, tubo cilíndrico, lóbulos erectos, lanceolados, involutos, subiguales (Jacobi, 1864).

Esta es la especie de *Agave* más extendida y común en el Desierto Chihuahuense del N de México, con excepción de *A. lechuguilla*. A diferencia de la mayoría de otras especies, habita en los amplios valles y llanuras, así como en las laderas pedregosas de las montañas. Está relacionado con *A. americana* y se distingue por sus hojas más escabrosas y más cortas, inflorescencias menos ramificadas, un tubo floral más largo y lóbulos de tépalos más pequeños (Gentry, 1982).



Figura 37. *Agave asperima*.

Grupo *Ditepalae*

Agave applanata Koch

Roseta solitaria o escasamente cespitosa. Hojas linear-lanceoladas, rígidamente erguidas-extendidas, muy rígidas, carnosas duras con fibras gruesas y abundantes, gradualmente agudas, generalmente más anchas en o cerca de la base, muy abiertamente cóncavas, lisas, en su mayoría de color gris glauco, hojas maduras mucho más largas que en las etapas anteriores, márgenes córneos en toda su

extensión o no diferenciados en el medio de la lámina; dientes marginales casi rectos con frecuencia curvados hacia abajo, muy fuertes, filados, dientes más grandes, de color marrón oscuro que se vuelven pruinosos cerosos claros, en su mayoría con una separación de 25 a 60 mm en formas silvestres, abruptamente ensanchados lenticularmente. Espina terminal muy fuerte, plana o anchamente acanalada, a menudo algo flexible, marrón rojizo oscuro que se torna grisácea con la edad, decurrente a lo largo del margen. Inflorescencia paniculada, pedúnculo verde glauco, con reflejo triangular. Flores de color amarillo a verdoso, a veces con un tinte marrón rojizo. Fruto oblongo, brillante, con ala discreta (Trelease, 1912).



Figura 38. *Agave applanata*.

Grupo *Salmianae*

Agave gentryi B. Ullrich

Roseta con las hojas anchas desde la base hasta el centro, reduciéndose e a puntas afiladas o largo triangulares, cóncava, de color amarillento claro a verde intenso, con fuertes huellas de los bordes creados por los dientes marginales. Los dientes marginales son casi rectos, de pequeños a grandes. La espina terminal fuerte de hasta 7 cm de largo. La inflorescencia paniculada, con un pedúnculo grueso y succulento, con brácteas muy carnosas. Las flores densamente agrupadas,

las flores de color amarillo, rojizas en la yema, tubo en forma de embudo (Ullrich, 1990).

Las flores son visitadas durante el día por pájaros e insectos y durante la noche, cuando aumenta la producción de néctar y el contenido de azúcar, por murciélagos e insectos (Castillo-Hernández & Treviño-Carreón, 2014).



Figura 39. *Agave gentryi*.

Agave macroculmis Tod.

Rosetas acaulescentes, surculosas, de hojas lanceoladas-trianguulares, de textura rígida, lisas y de color verde claro a oscuro, márgenes córneos, rectos en el ápice y en la base de las hojas, con dientes marginales de color negro opaco a café oscuro, café grisáceo o café rojizo. La espina terminal largamente deltoide, con una base ancha dorsalmente cilíndrica, muy engrosada en la base, ventralmente plana y acanalada en su anchura. Inflorescencia en panícula. Flores carnosas de color amarillo (Ullrich, 1990).

Agave mapisaga Trel.

Rosetas abiertamente extendidas, de hoja lineal, extendiéndose a ascendente, a veces reflejada o flexionada, de color verde pálido, glauca o zonada, la base muy gruesa y carnosa, plana arriba, convexa abajo, la hoja hacia arriba, largamente acuminada. El margen recto con pequeños dientes marrones, en su mayoría separados. La espina terminal cónica-subulada, con surcos angostos arriba, larga decurrente, de color marrón oscuro a marrón grisáceo. Inflorescencia masiva de 7 a 8 m o más de largo, el pedúnculo estrechamente insertado con grandes brácteas succulentas; panícula muy extendida con umbelas densas y pesadas. Las flores grandes, succulentas, largas, tépalos frecuentemente rojizos en la yema, apertura amarilla sobre ovarios verdes. Semillas lacrimiformes, negras, onduladas, muesca hiliar cerca del ápice, ala marginal curvada hacia arriba (Gentry, 1982). Se distribuye en los estados de Tamaulipas, Zacatecas, Jalisco, Querétaro, Hidalgo, México, Guerrero, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca entre los 1900 a 2700 m de altitud. La época de floración va de abril a agosto (Thiede, 2020).



Figura 40. *Agave mapisaga*

Agave montana Villareal

Acaulescente. Roseta semiglobosa, compacta y solitaria. Las hojas poco elípticas, con la base ensanchada, ápice acuminado, levemente acanalado a casi plano, de color verde amarillento, márgenes rectos, cerca de la punta bordeada de marrón purpura. Los dientes marginales casi rectos, ampliamente triangulares desde una base lenticular, de cloro grisáceo. Espina terminal acicular, estrechamente triangular y de color grisáceo. Inflorescencia paniculada, pedúnculo grueso y succulento, las brácteas de color pardo rojizas. Las flores tienen la puta de color amarillo y las yemas rojizas, lóbulos lanceolados (Greulich, 2012; Villareal, 1996).



Figura 41. *Agave montana*.

Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck

Es conocido como el maguey pulquero, xaminí, manso, verdeo cimarrón, especie endémica a México. Monocárpica, de rosetas que pueden llegar hasta 2 m de alto, de hojas lanceoladas, y acuminadas, de color verde a verde grisáceo, convexas en la base de la hoja y cóncavas acanaladas en la parte superior. El margen es ondulado y con dientes prominentes, más largos a la mitad de la hoja. El pedúnculo puede llegar a medir hasta 8 m de altura, en forma de panícula y de brácteas grandes y carnosas. Umbelas grandes con flores de color amarillo, los tépalos lanceolados desiguales y capsula leñosa trilocular. Las semillas están dispuestas en dos hileras por lóculo. Se utiliza para la fabricación de pulque, la epidermis de las hojas se utiliza para la elaboración de platillos conocidos como mixiotes, para la elaboración de barbacoa y las flores se cocinan antes de que abran en una amplia variedad de guisos (Gentry, 1982). Las larvas de insectos conocidos como gusanos blancos y rojos que llevan parte de sus ciclos de vida en el maguey son aprovechadas como fuente de proteína. Otros usos como cercos vivos y como plantas de ornato. Así mismo las pencas son utilizadas como forraje (Aguilar *et al.*, 2014).



Figura 42. *Agave salmiana*.

Apéndice 2. Porcentaje de germinación (%G) por especie

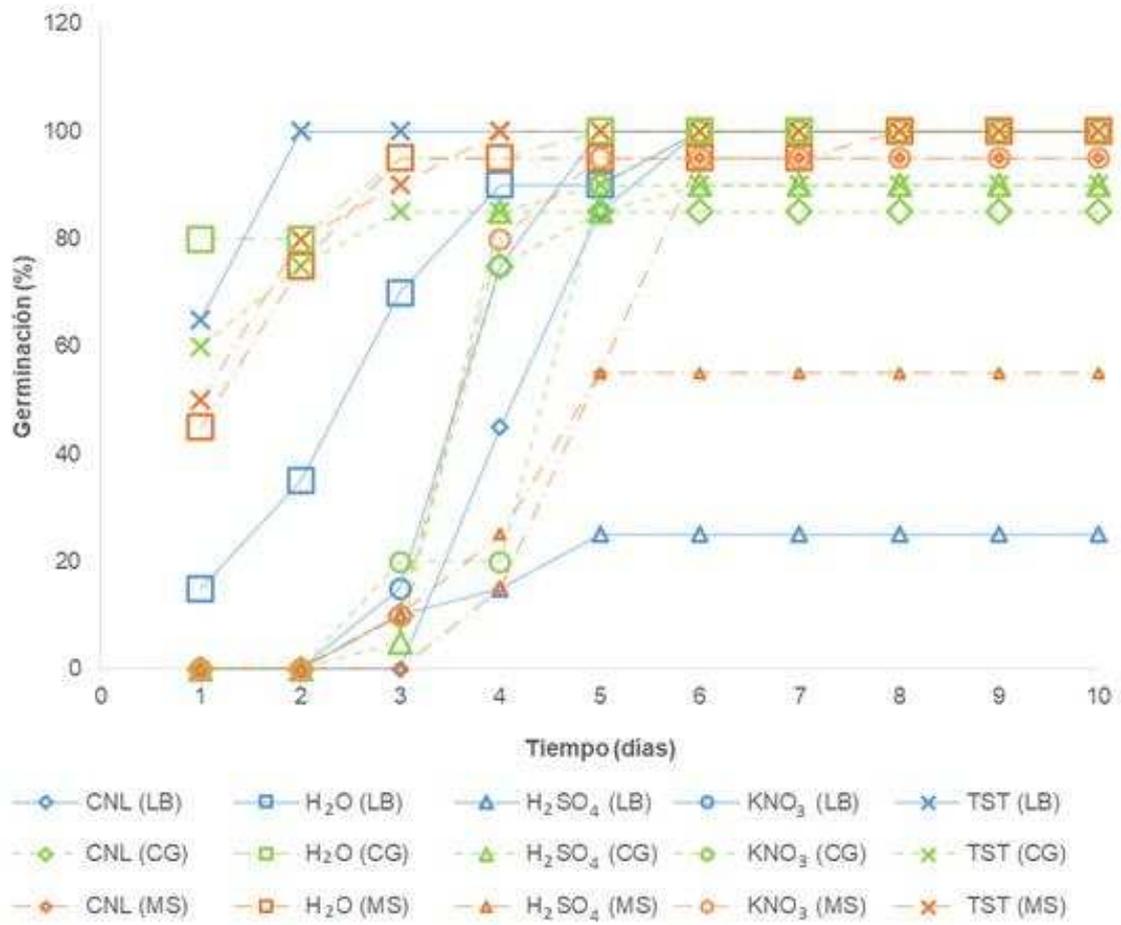


Figura 43. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. americana*.

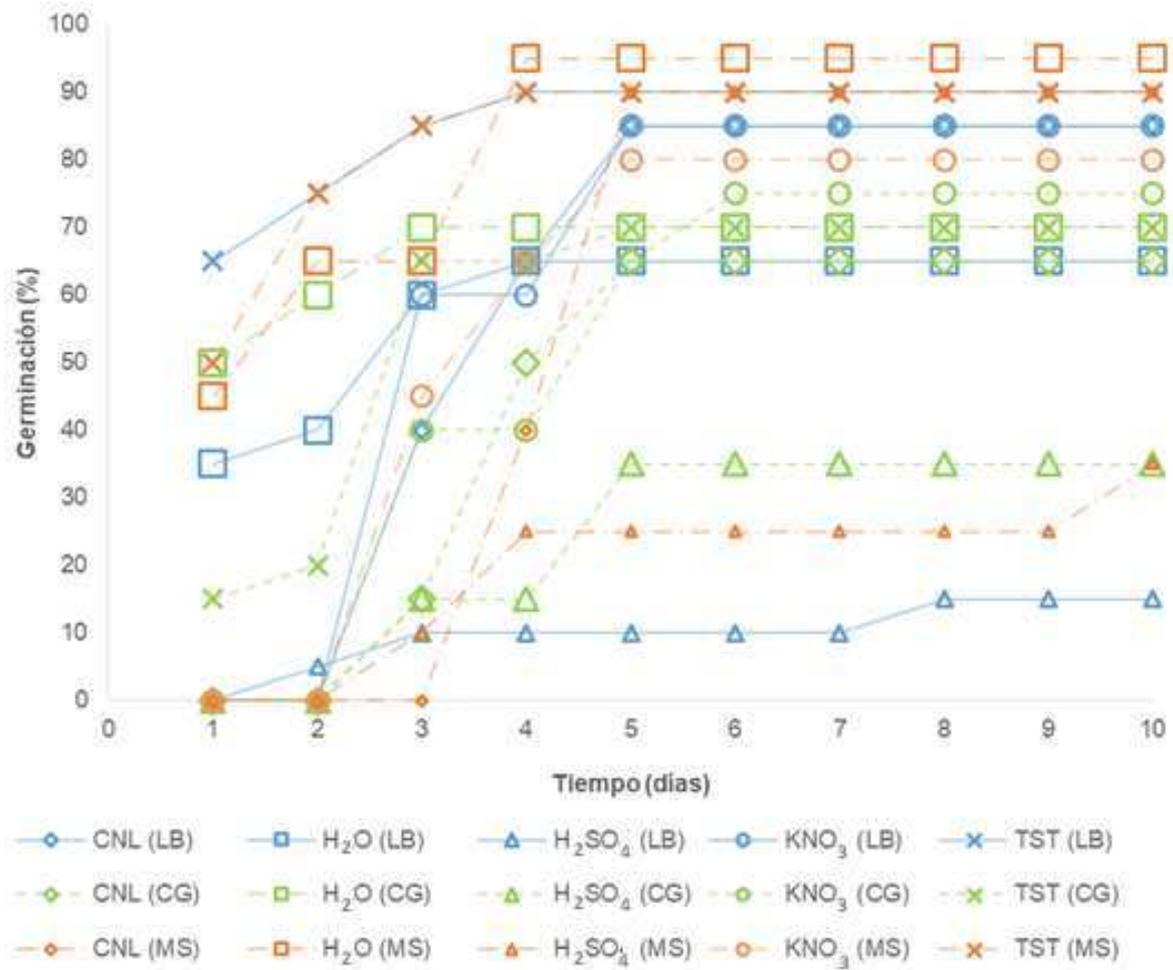


Figura 44. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. applanata*.

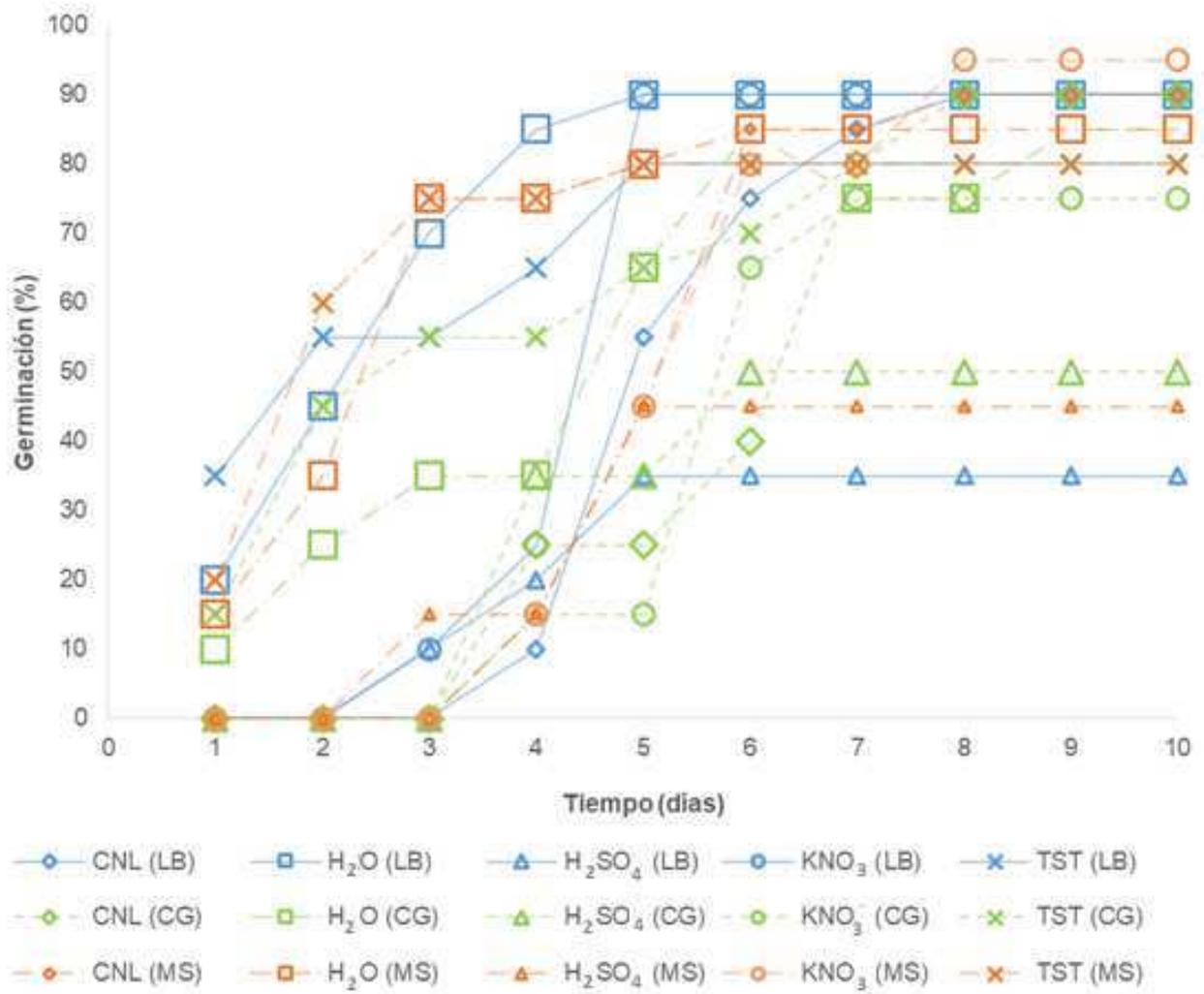


Figura 45. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. asperima*.

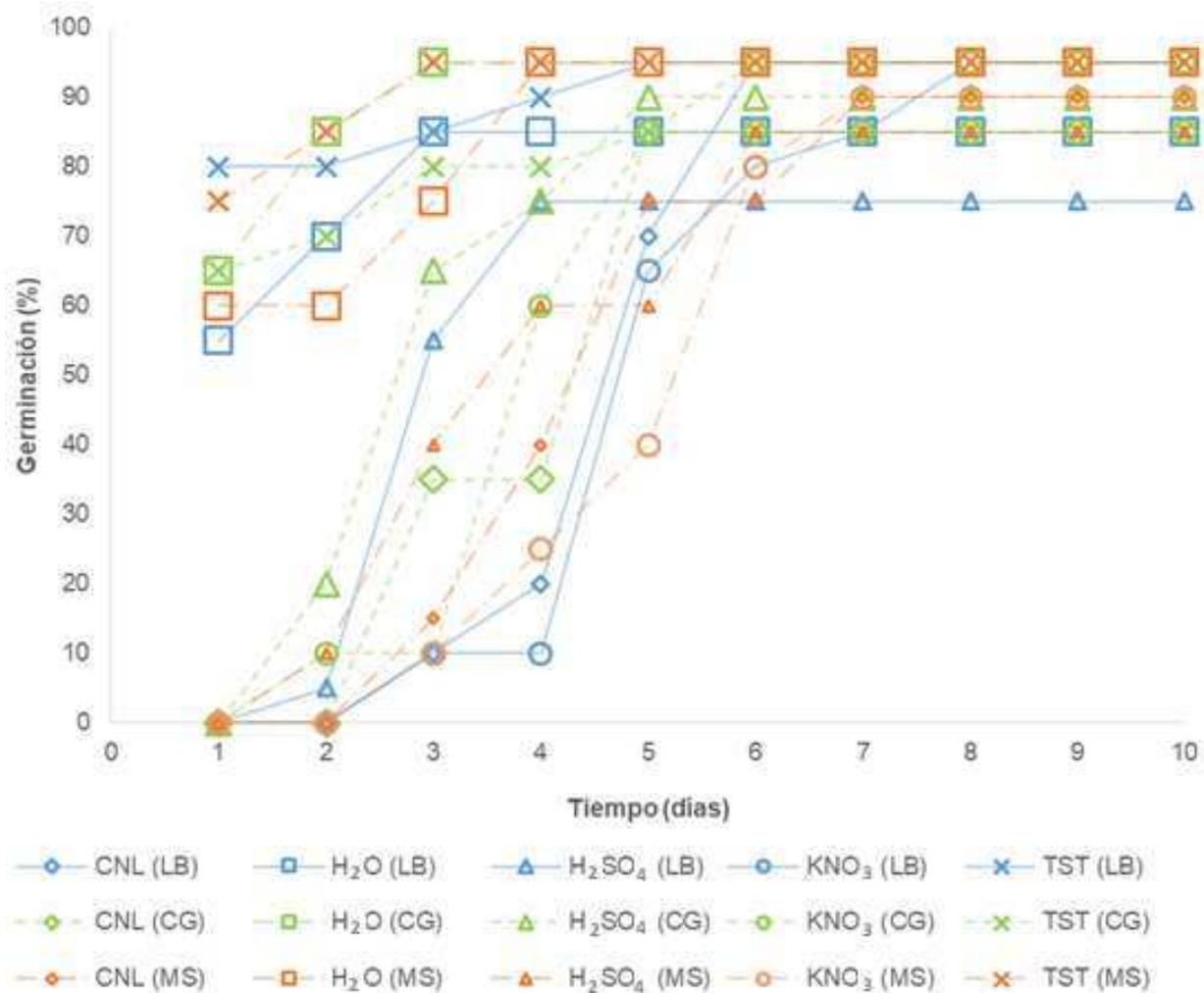


Figura 46. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. difformis*.

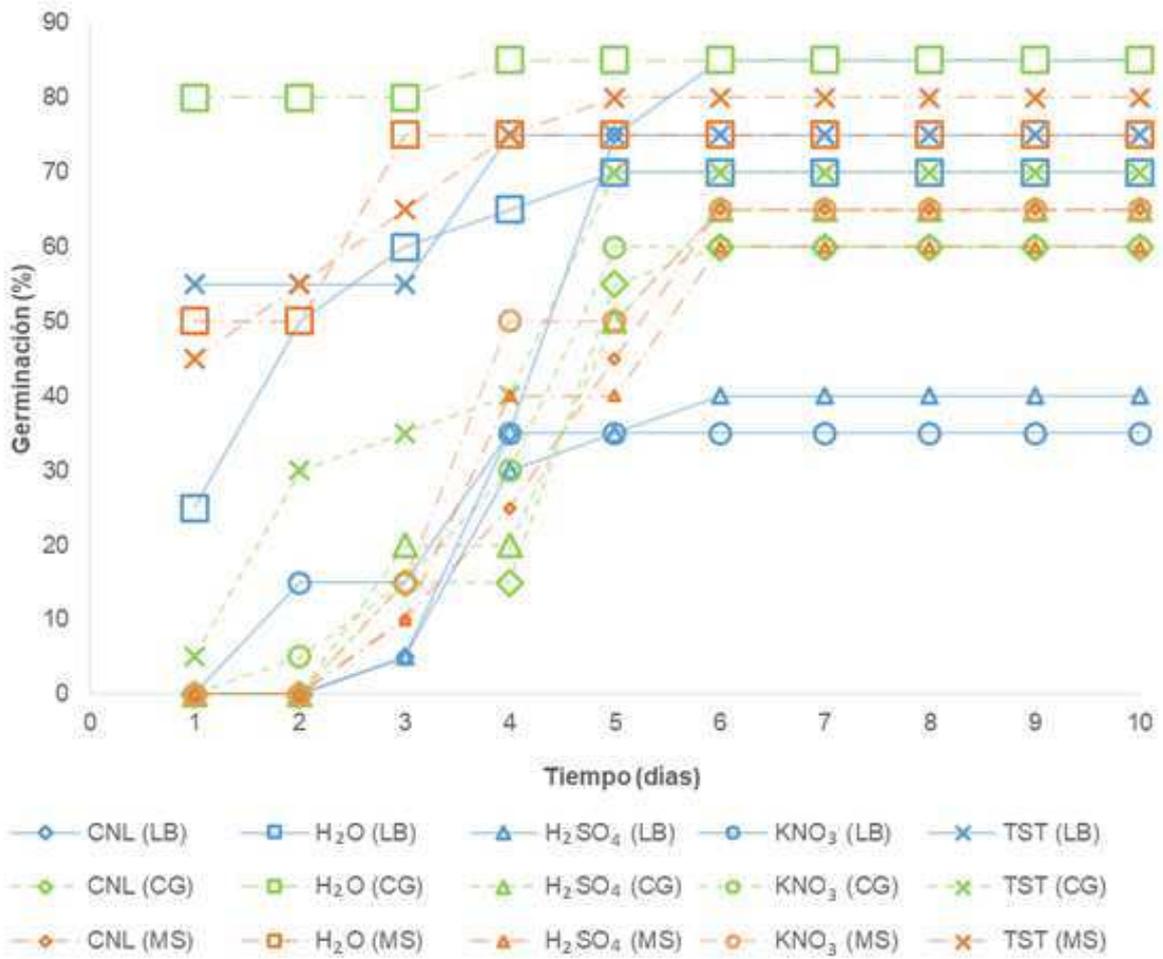


Figura 47. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. funkiana*.

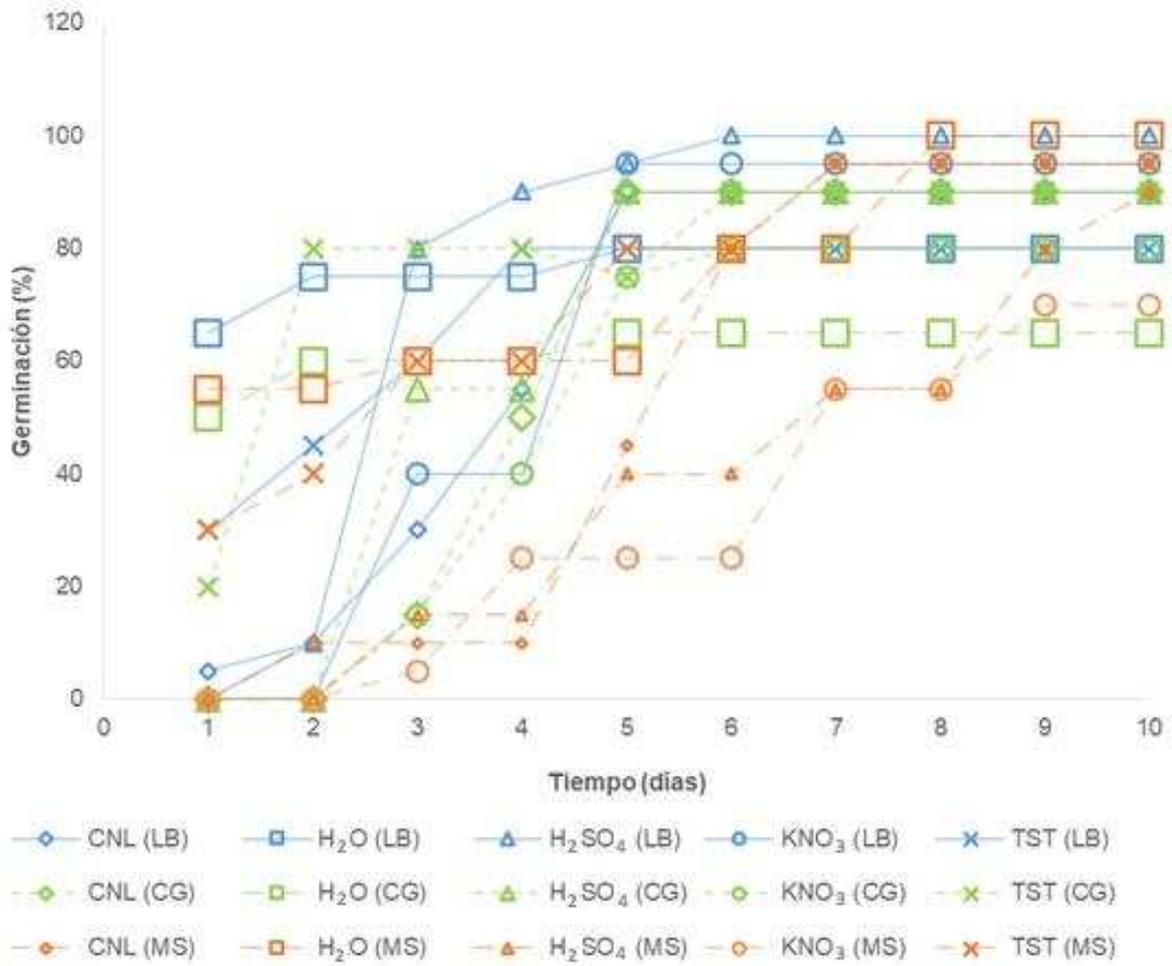


Figura 48. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. garciae-mendozae*.

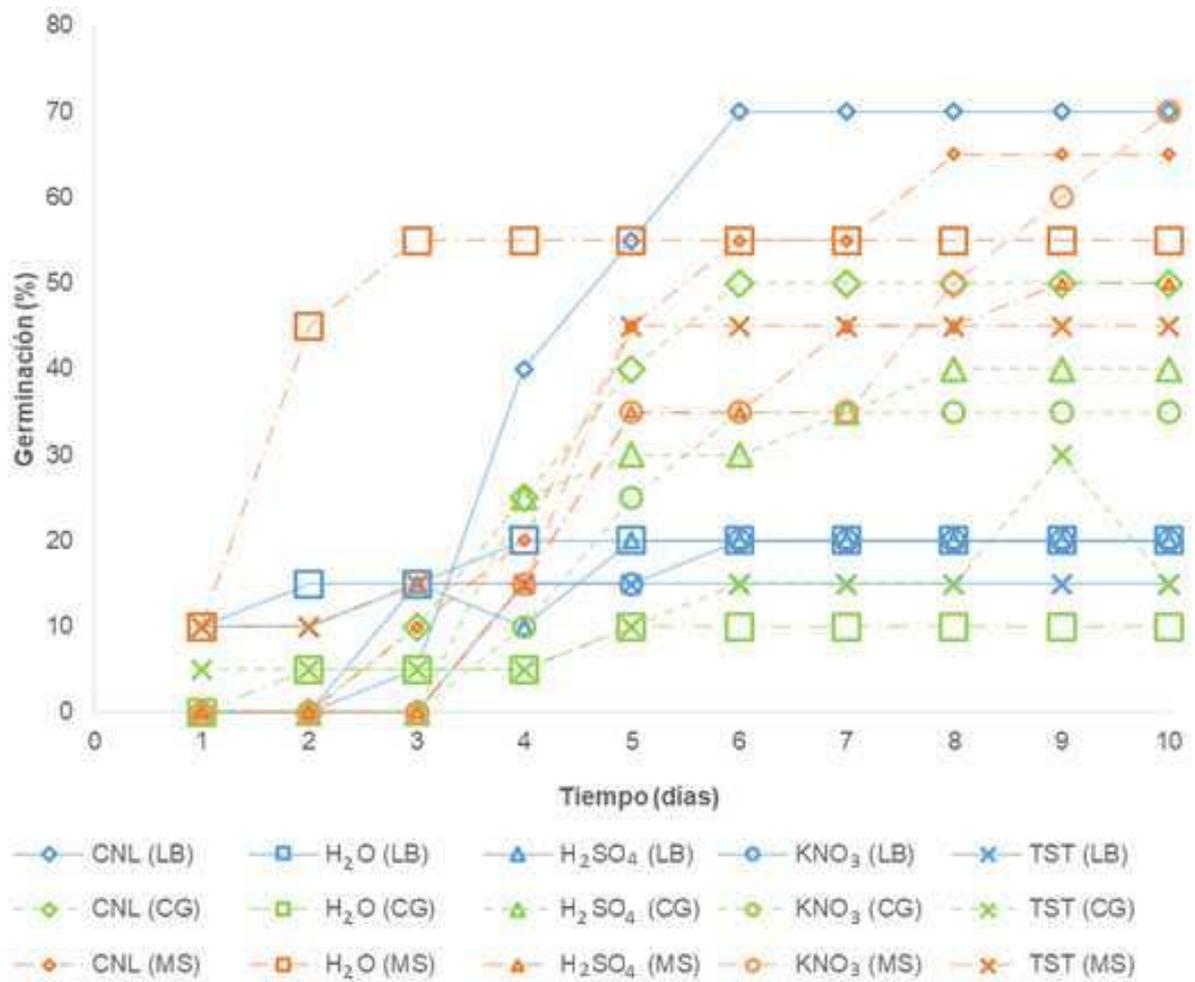


Figura 49. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. heteracantha*.

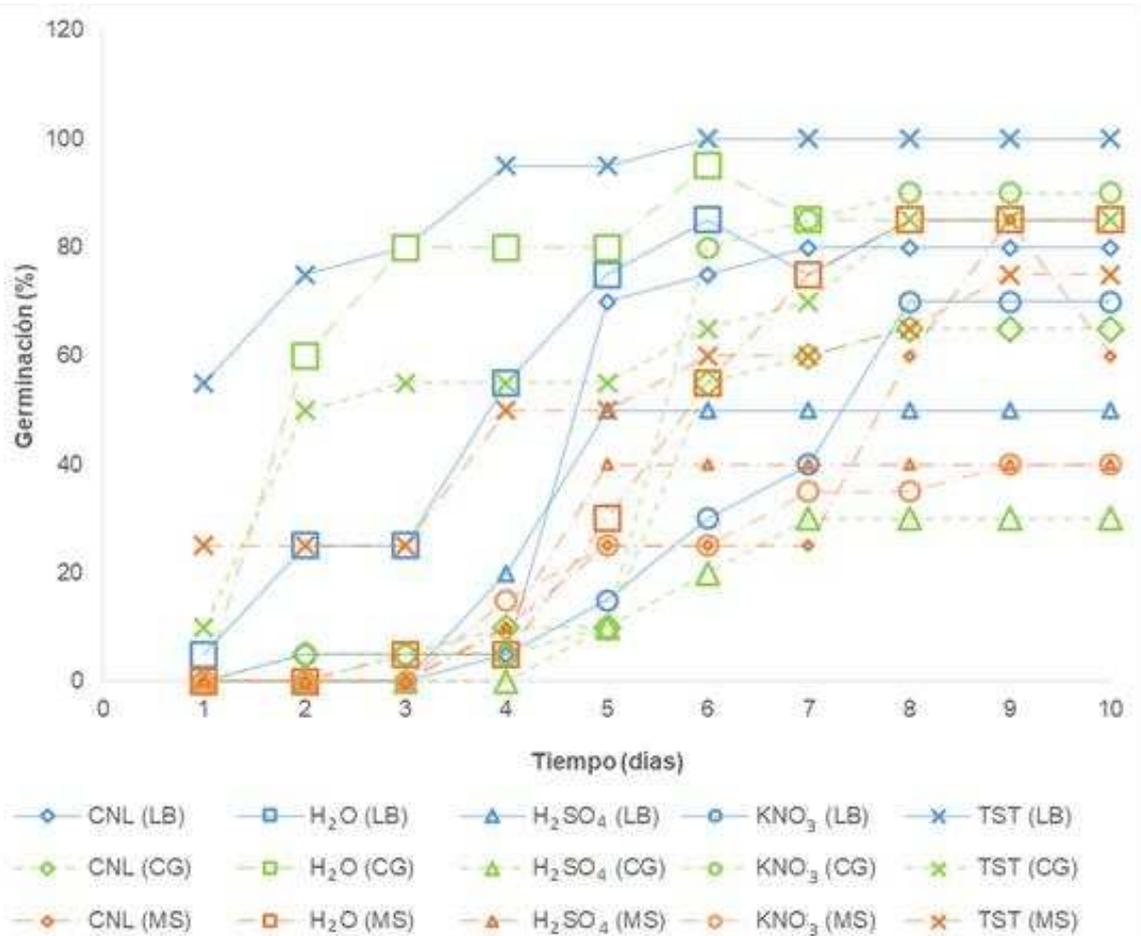


Figura 50. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. mapisaga*.

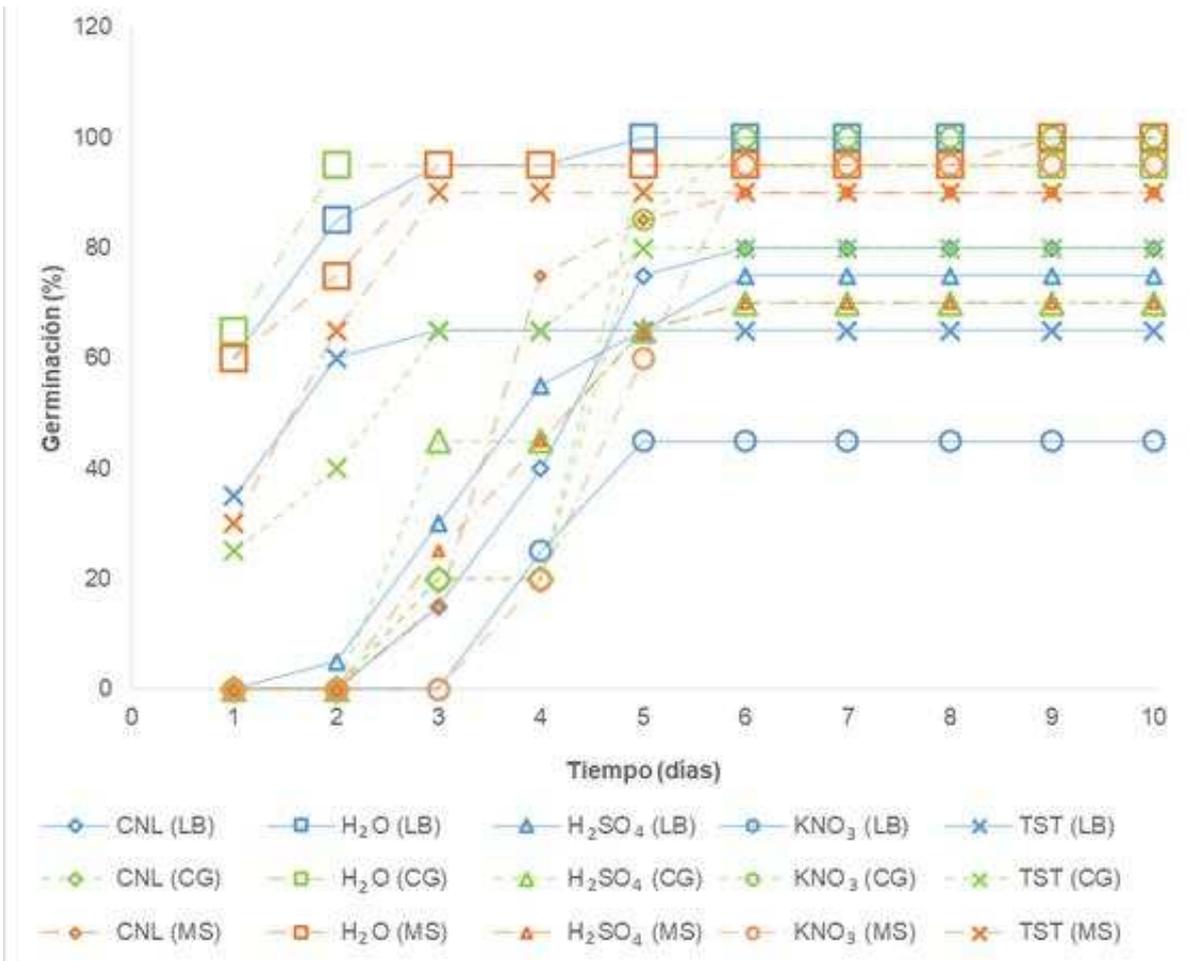


Figura 51. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. mitis*.

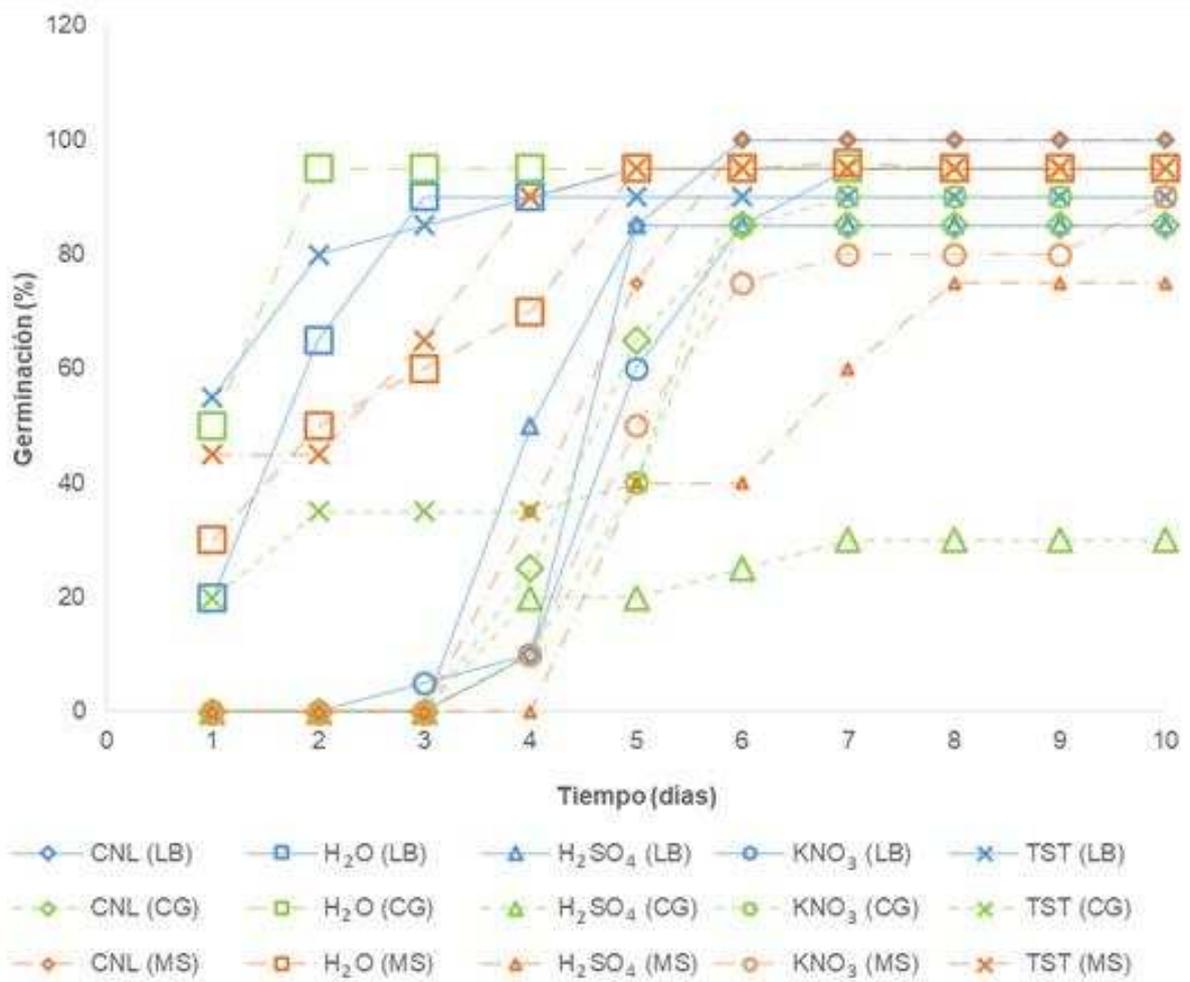


Figura 52. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. salmiana*.

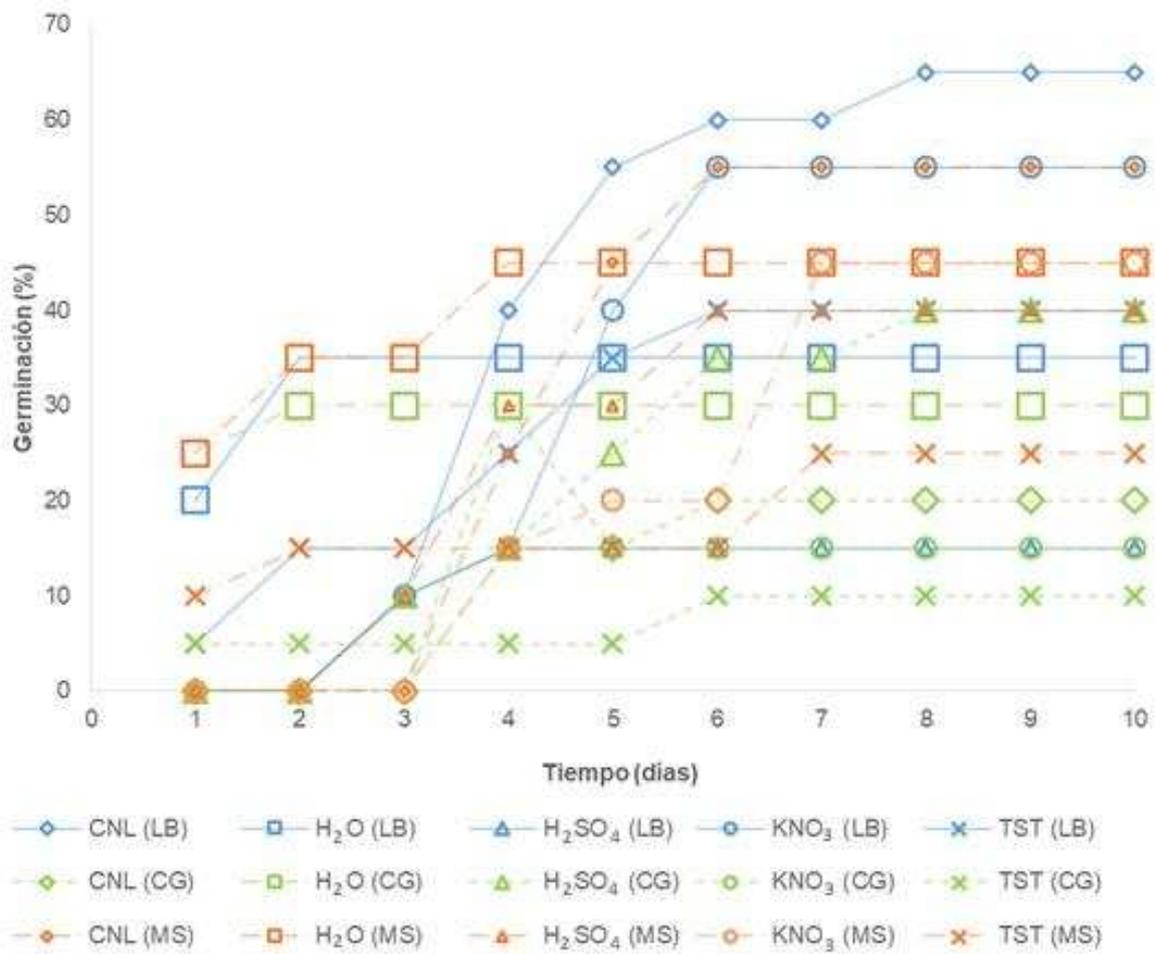


Figura 53. Germinación acumulada de semillas para la especie *A. striata*.

Apéndice 3. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación (%G)

\$`Tratamiento:Sitio`				
	diff	lwr	upr	p adj
H2O:CG-CNL:CG	2.2727273	-33.2822804	37.827735	1.0000000
H2SO4:CG-CNL:CG	-14.5454545	-50.1004622	21.009553	0.9851789
KNO3:CG-CNL:CG	2.2727273	-33.2822804	37.827735	1.0000000
TST:CG-CNL:CG	-1.8181818	-37.3731894	33.736826	1.0000000
CNL:LB-CNL:CG	13.6363636	-21.9186440	49.191371	0.9919196
H2O:LB-CNL:CG	3.1818182	-32.3731894	38.736826	1.0000000
H2SO4:LB-CNL:CG	-23.1818182	-58.7368258	12.373189	0.6295313
KNO3:LB-CNL:CG	-0.4545455	-36.0095531	35.100462	1.0000000
TST:LB-CNL:CG	3.6363636	-31.9186440	39.191371	1.0000000
CNL:MS-CNL:CG	9.5454545	-26.0095531	45.100462	0.9998264
H2O:MS-CNL:CG	12.7272727	-22.8277349	48.282280	0.9959171
H2SO4:MS-CNL:CG	-13.1818182	-48.7368258	22.373189	0.9941979
KNO3:MS-CNL:CG	4.0909091	-31.4640985	39.645917	1.0000000
TST:MS-CNL:CG	7.2727273	-28.2822804	42.827735	0.9999937
H2SO4:CG-H2O:CG	-16.8181818	-52.3731894	18.736826	0.9489373
KNO3:CG-H2O:CG	0.0000000	-35.5550076	35.555008	1.0000000
TST:CG-H2O:CG	-4.0909091	-39.6459167	31.464099	1.0000000
CNL:LB-H2O:CG	11.3636364	-24.1913713	46.918644	0.9987573
H2O:LB-H2O:CG	0.9090909	-34.6459167	36.464099	1.0000000
H2SO4:LB-H2O:CG	-25.4545455	-61.0095531	10.100462	0.4688967
KNO3:LB-H2O:CG	-2.7272727	-38.2822804	32.827735	1.0000000
TST:LB-H2O:CG	1.3636364	-34.1913713	36.918644	1.0000000
CNL:MS-H2O:CG	7.2727273	-28.2822804	42.827735	0.9999937
H2O:MS-H2O:CG	10.4545455	-25.1004622	46.009553	0.9995060
H2SO4:MS-H2O:CG	-15.4545455	-51.0095531	20.100462	0.9745888
KNO3:MS-H2O:CG	1.8181818	-33.7368258	37.373189	1.0000000
TST:MS-H2O:CG	5.0000000	-30.5550076	40.555008	1.0000000
KNO3:CG-H2SO4:CG	16.8181818	-18.7368258	52.373189	0.9489373
TST:CG-H2SO4:CG	12.7272727	-22.8277349	48.282280	0.9959171
CNL:LB-H2SO4:CG	28.1818182	-7.3731894	63.736826	0.2954919
H2O:LB-H2SO4:CG	17.7272727	-17.8277349	53.282280	0.9238067
H2SO4:LB-H2SO4:CG	-8.6363636	-44.1913713	26.918644	0.9999472
KNO3:LB-H2SO4:CG	14.0909091	-21.4640985	49.645917	0.9889582
TST:LB-H2SO4:CG	18.1818182	-17.3731894	53.736826	0.9085430
CNL:MS-H2SO4:CG	24.0909091	-11.4640985	59.645917	0.5651715
TST:MS-TST:CG	9.0909091	-26.4640985	44.645917	0.9999024
H2O:LB-CNL:LB	-10.4545455	-46.0095531	25.100462	0.9995060
H2SO4:LB-CNL:LB	-36.8181818	-72.3731894	-1.263174	0.0344865
KNO3:LB-CNL:LB	-14.0909091	-49.6459167	21.464099	0.9889582
TST:LB-CNL:LB	-10.0000000	-45.5550076	25.555008	0.9997022
CNL:MS-CNL:LB	-4.0909091	-39.6459167	31.464099	1.0000000
H2O:MS-CNL:LB	-0.9090909	-36.4640985	34.645917	1.0000000
H2SO4:MS-CNL:LB	-26.8181818	-62.3731894	8.736826	0.3776497
KNO3:MS-CNL:LB	-9.5454545	-45.1004622	26.009553	0.9998264
TST:MS-CNL:LB	-6.3636364	-41.9186440	29.191371	0.9999989
H2SO4:LB-H2O:LB	-26.3636364	-61.9186440	9.191371	0.4072237
KNO3:LB-H2O:LB	-3.6363636	-39.1913713	31.918644	1.0000000
TST:LB-H2O:LB	0.4545455	-35.1004622	36.009553	1.0000000
CNL:MS-H2O:LB	6.3636364	-29.1913713	41.918644	0.9999989
H2O:MS-H2O:LB	9.5454545	-26.0095531	45.100462	0.9998264
H2SO4:MS-H2O:LB	-16.3636364	-51.9186440	19.191371	0.9589765
KNO3:MS-H2O:LB	0.9090909	-34.6459167	36.464099	1.0000000
TST:MS-H2O:LB	4.0909091	-31.4640985	39.645917	1.0000000
KNO3:LB-H2SO4:LB	22.7272727	-12.8277349	58.282280	0.6611073
TST:LB-H2SO4:LB	26.8181818	-8.7368258	62.373189	0.3776497
CNL:MS-H2SO4:LB	32.7272727	-2.8277349	68.282280	0.1074231
H2O:MS-H2SO4:LB	35.9090909	0.3540833	71.464099	0.0451359
H2SO4:MS-H2SO4:LB	10.0000000	-25.5550076	45.555008	0.9997022
KNO3:MS-H2SO4:LB	27.2727273	-8.2822804	62.827735	0.3490993
TST:MS-H2SO4:LB	30.4545455	-5.1004622	66.009553	0.1846526
TST:LB-KNO3:LB	4.0909091	-31.4640985	39.645917	1.0000000
CNL:MS-KNO3:LB	10.0000000	-25.5550076	45.555008	0.9997022
H2O:MS-KNO3:LB	13.1818182	-22.3731894	48.736826	0.9941979
H2SO4:MS-KNO3:LB	-12.7272727	-48.2822804	22.827735	0.9959171
KNO3:MS-KNO3:LB	4.5454545	-31.0095531	40.100462	1.0000000
TST:MS-KNO3:LB	7.7272727	-27.8277349	43.282280	0.9999865
CNL:MS-TST:LB	5.9090909	-29.6459167	41.464099	0.9999996
H2O:MS-TST:LB	9.0909091	-26.4640985	44.645917	0.9999024
H2SO4:MS-TST:LB	-16.8181818	-52.3731894	18.736826	0.9489373
KNO3:MS-TST:LB	0.4545455	-35.1004622	36.009553	1.0000000
TST:MS-TST:LB	3.6363636	-31.9186440	39.191371	1.0000000
H2O:MS-CNL:MS	3.1818182	-32.3731894	38.736826	1.0000000
H2SO4:MS-CNL:MS	-22.7272727	-58.2822804	12.827735	0.6611073

Figura 54. Prueba de tukey para los sitios y tratamientos.

Apéndice 4. Coeficiente de velocidad (CV) por especie.

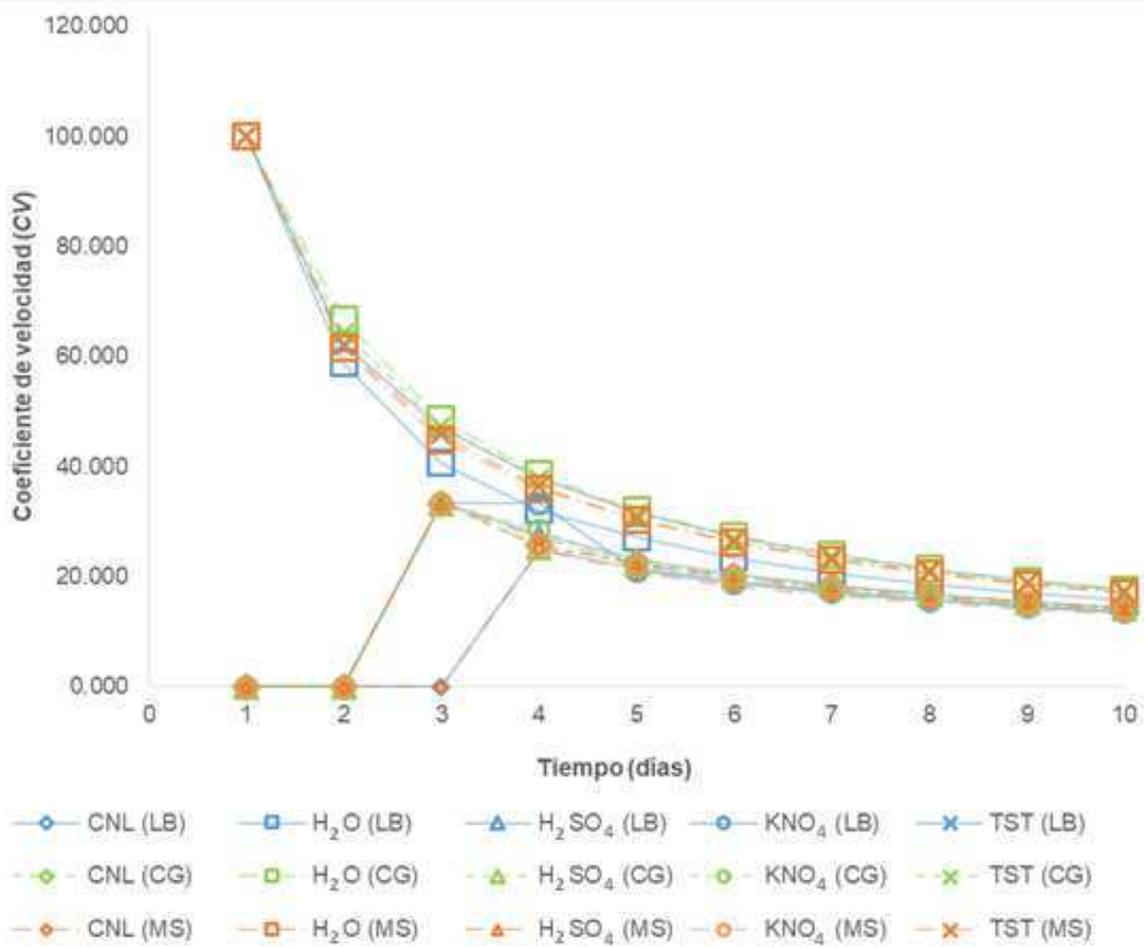


Figura 55. Coeficiente de velocidad para la germinación de semilla con respecto al tiempo para *A. americana*.

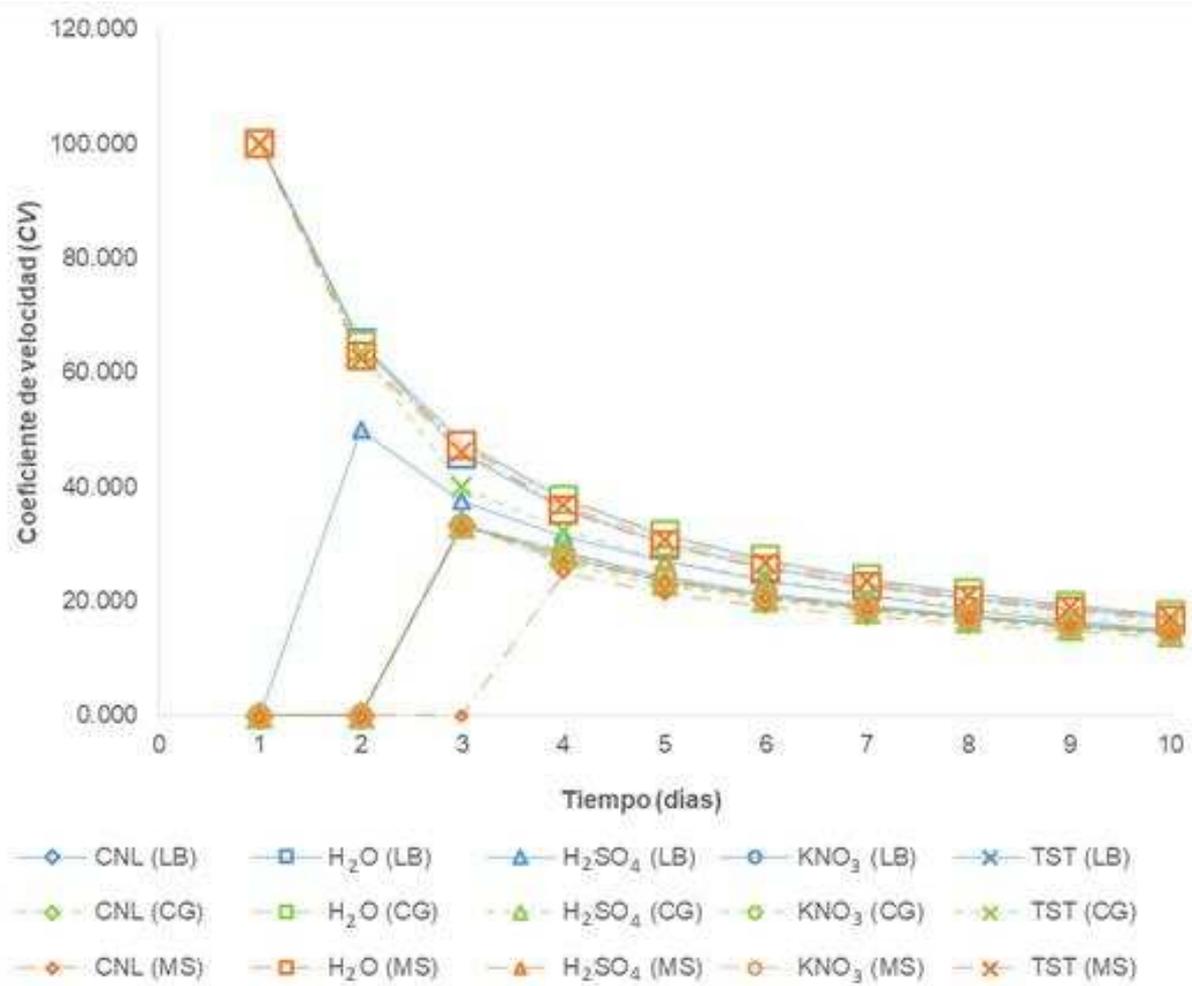


Figura 56. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. applanata*.

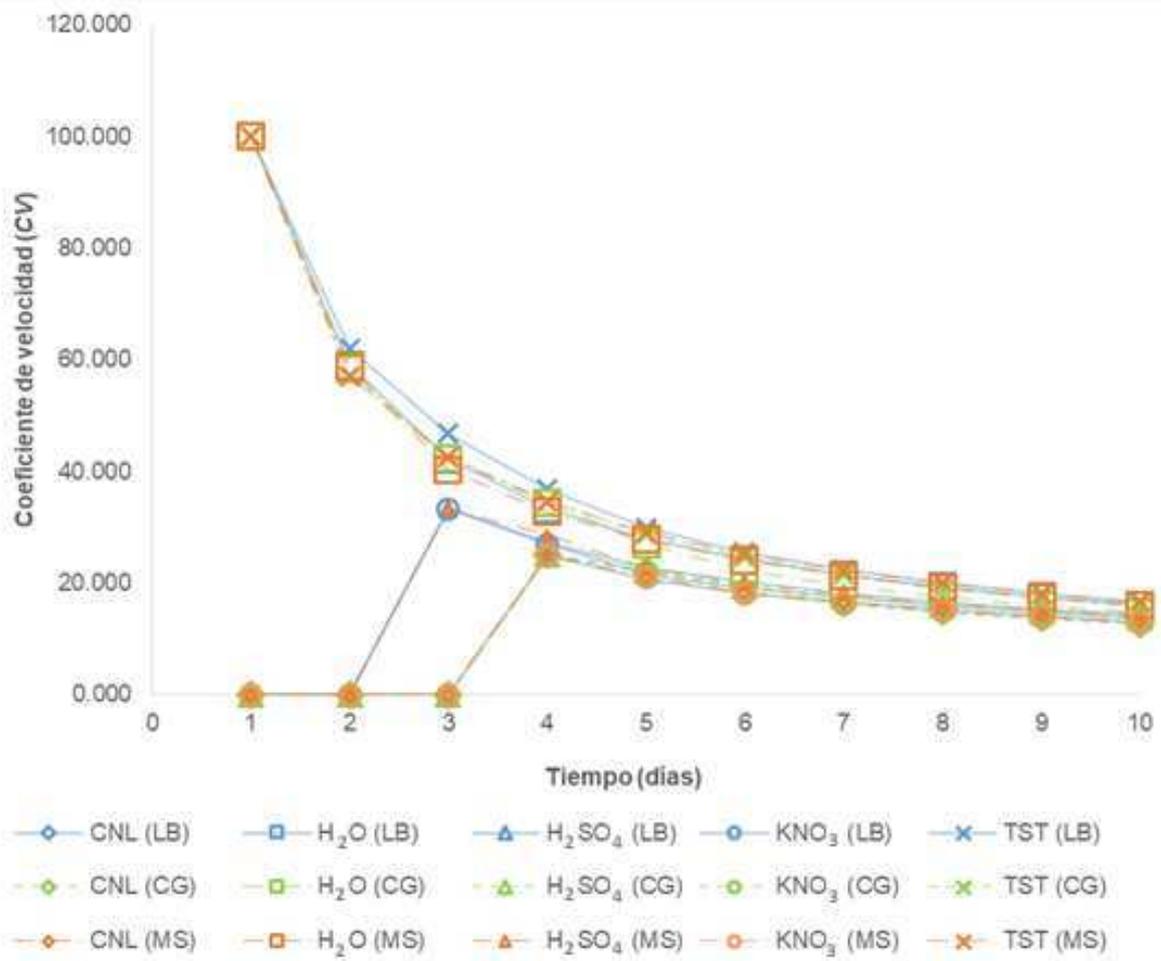


Figura 57. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. asperima*.

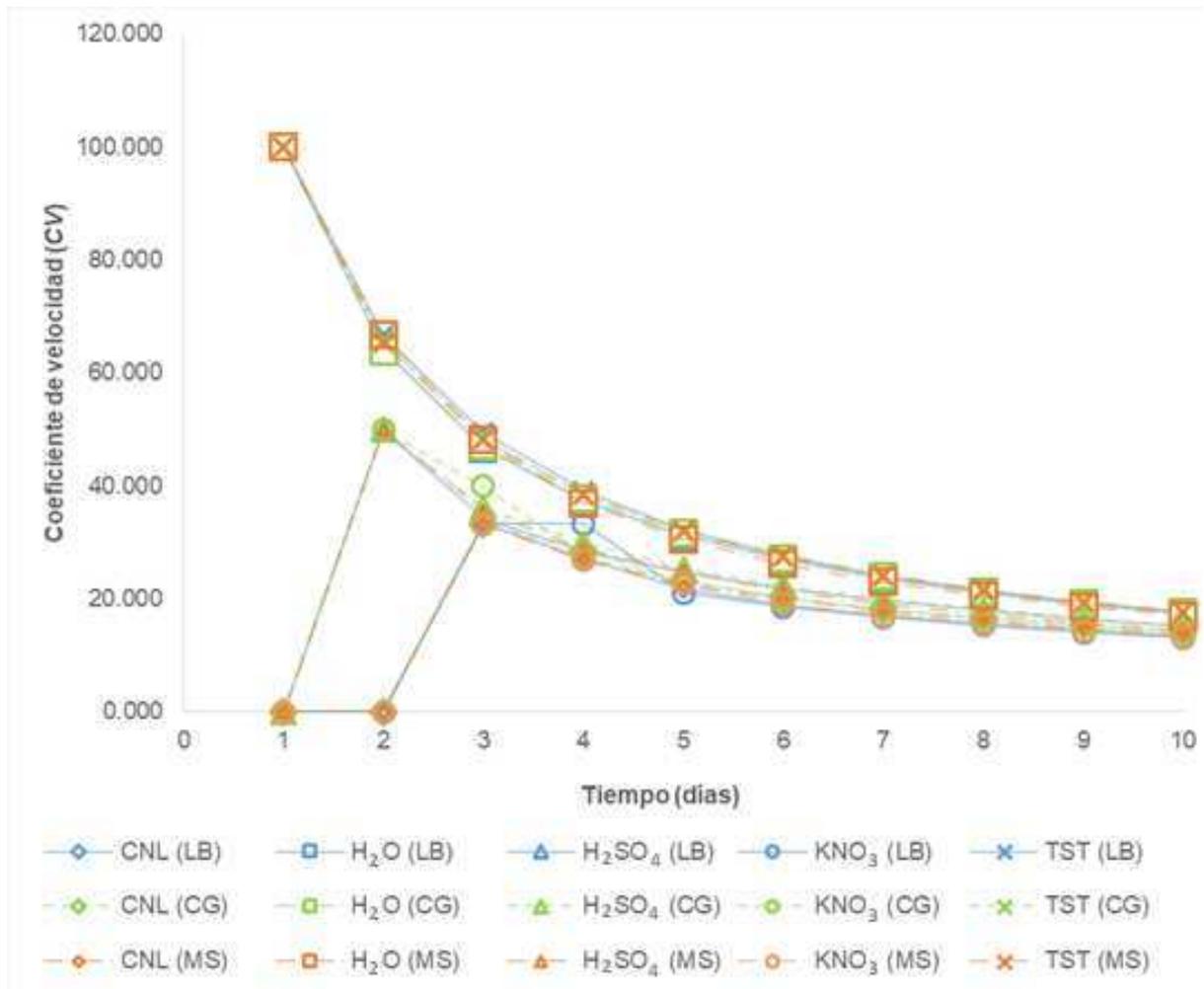


Figura 58. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. difformis*.

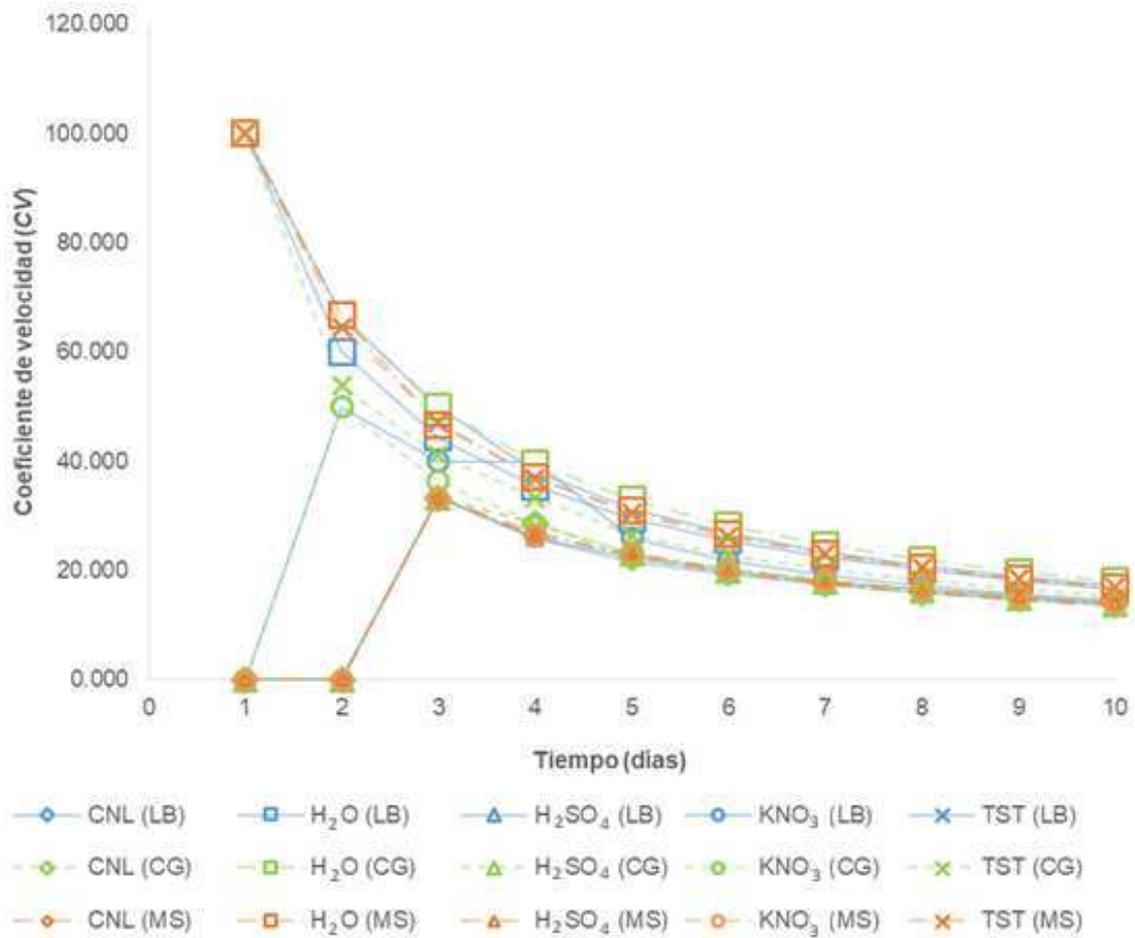


Figura 59. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. funkiana*.

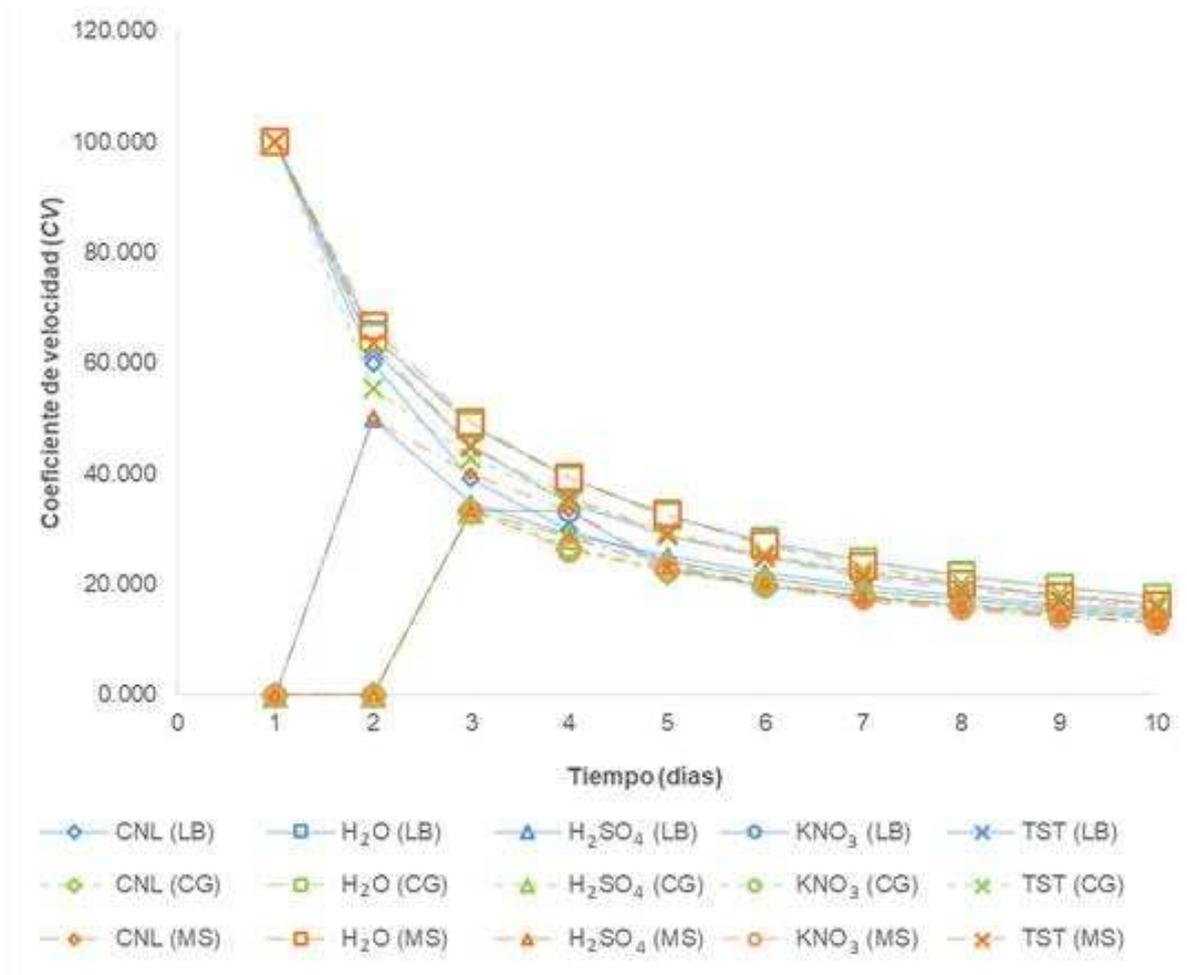


Figura 60. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. garciae-mendozae*.

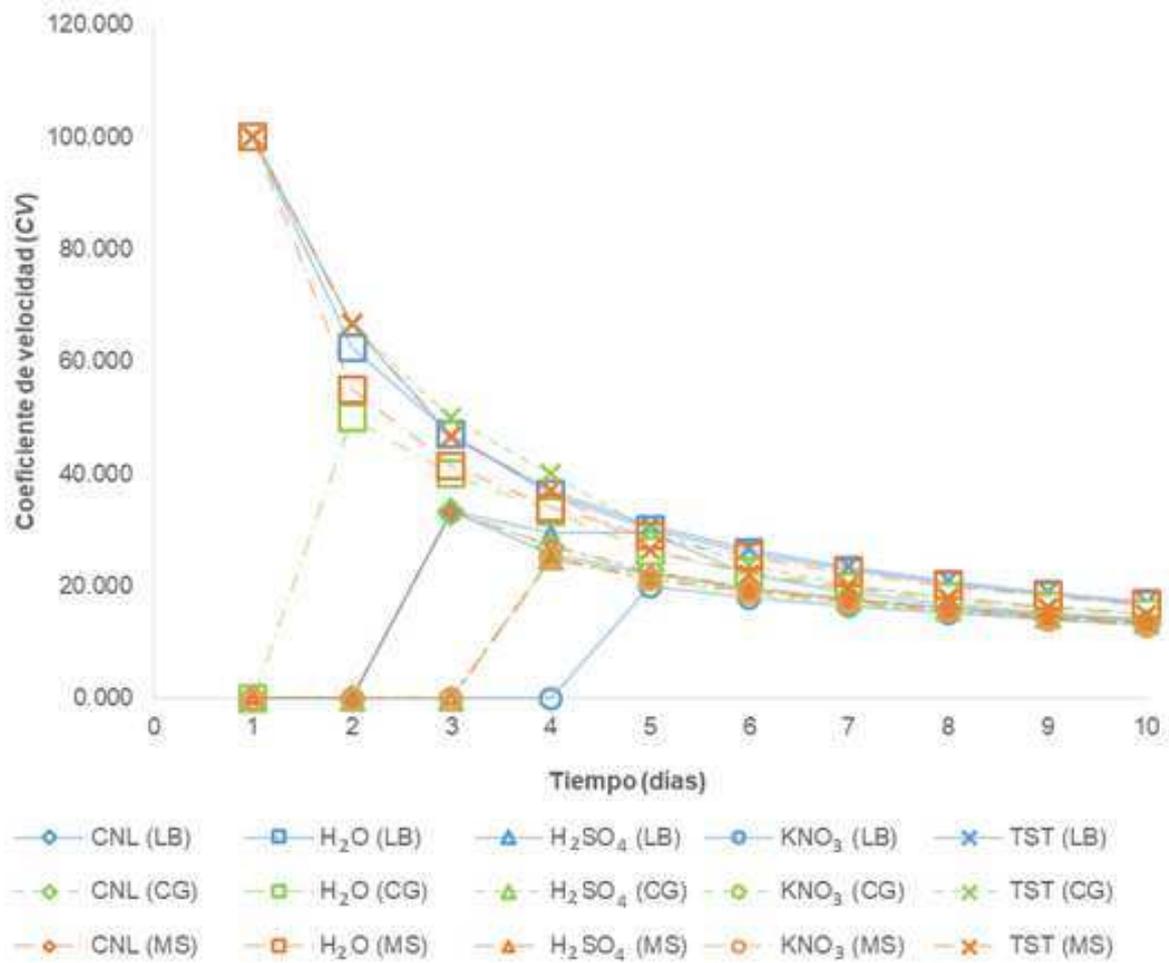


Figura 61. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. heteracantha*.

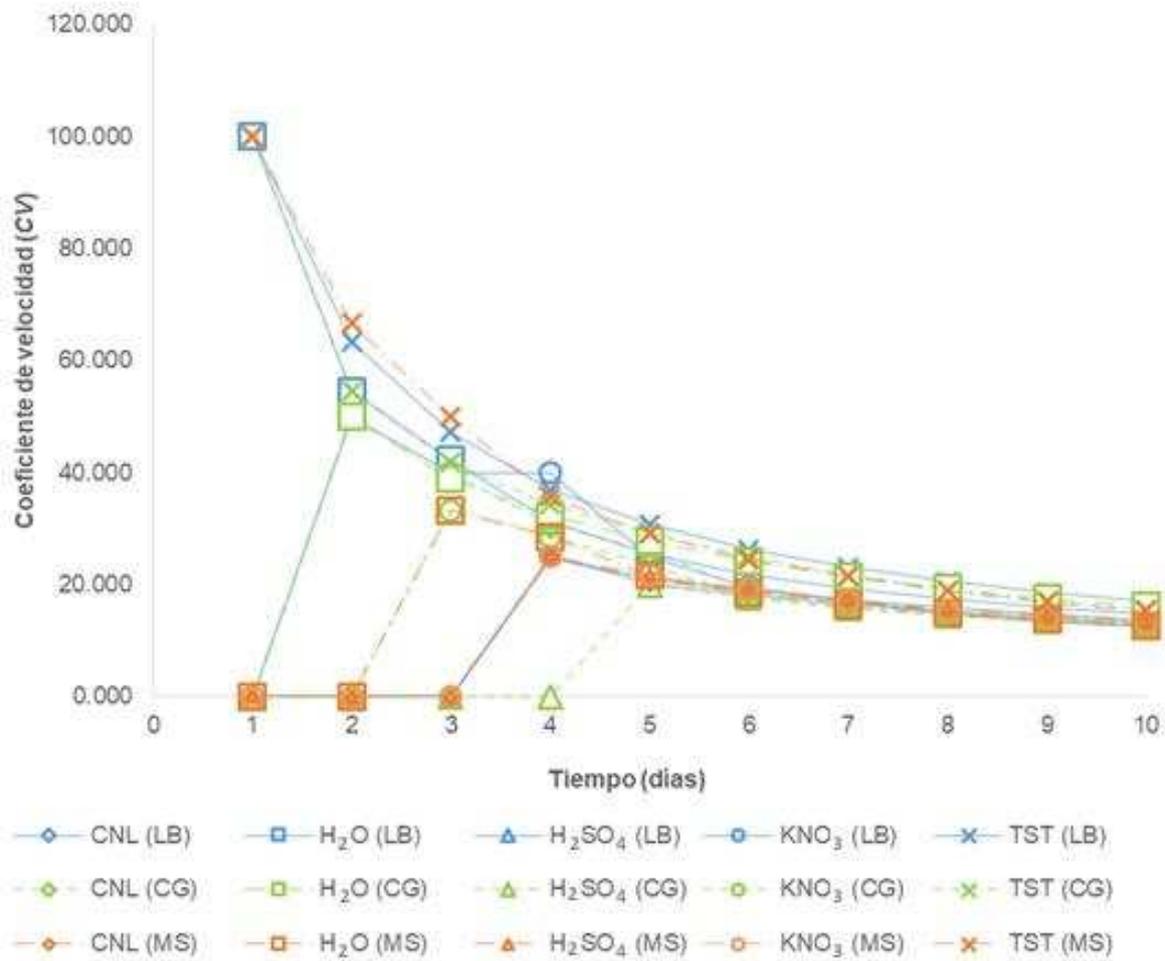


Figura 62. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. mapisaga*.

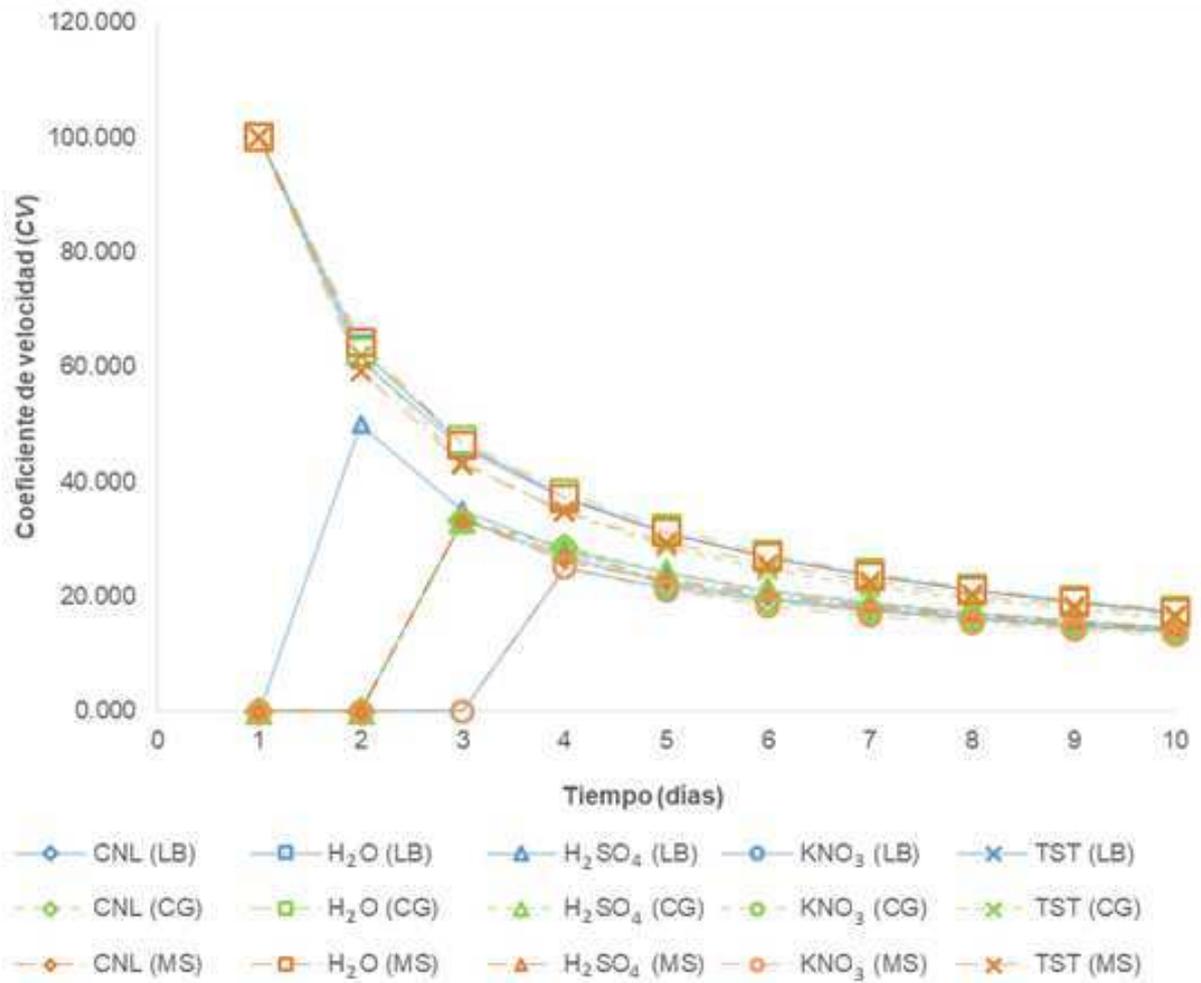


Figura 63. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. mitis*.

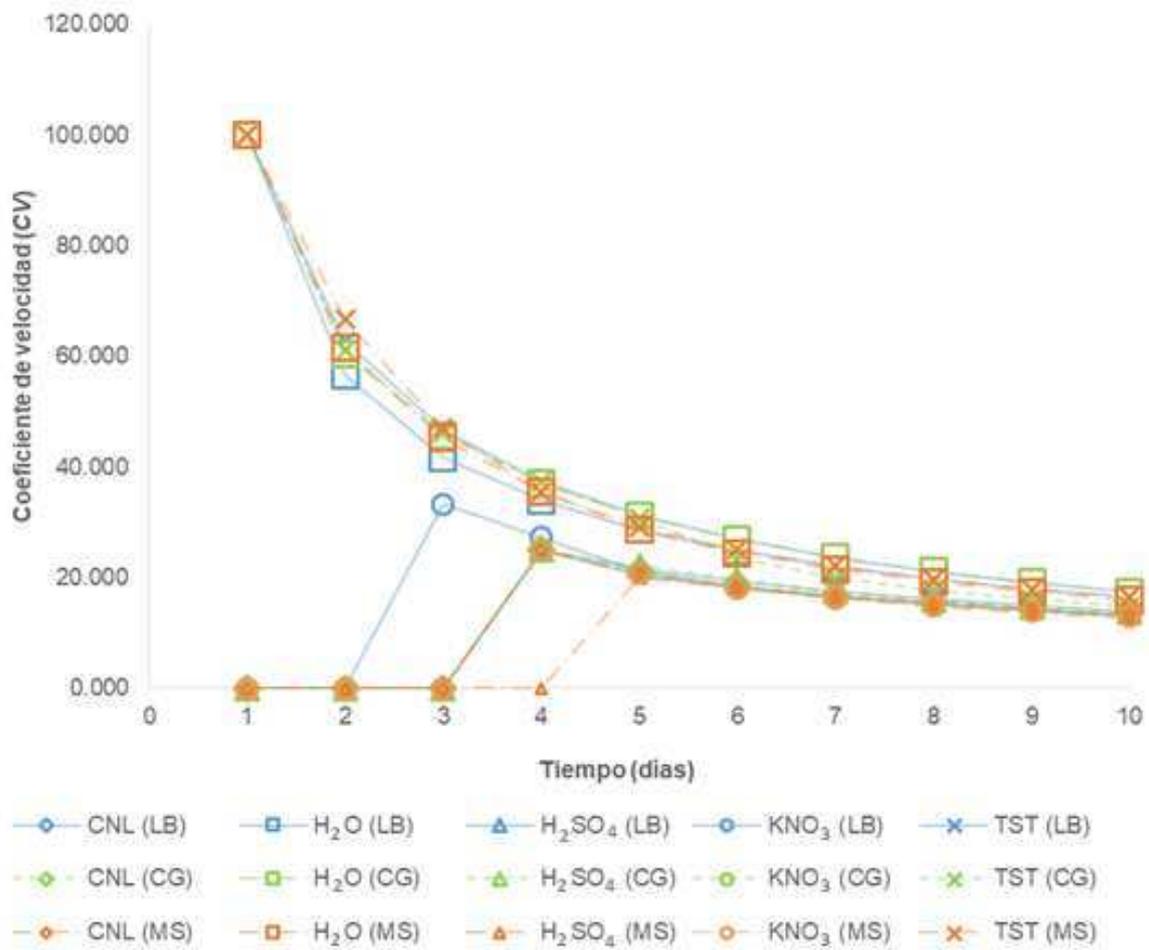


Figura 64. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. salmiana*.

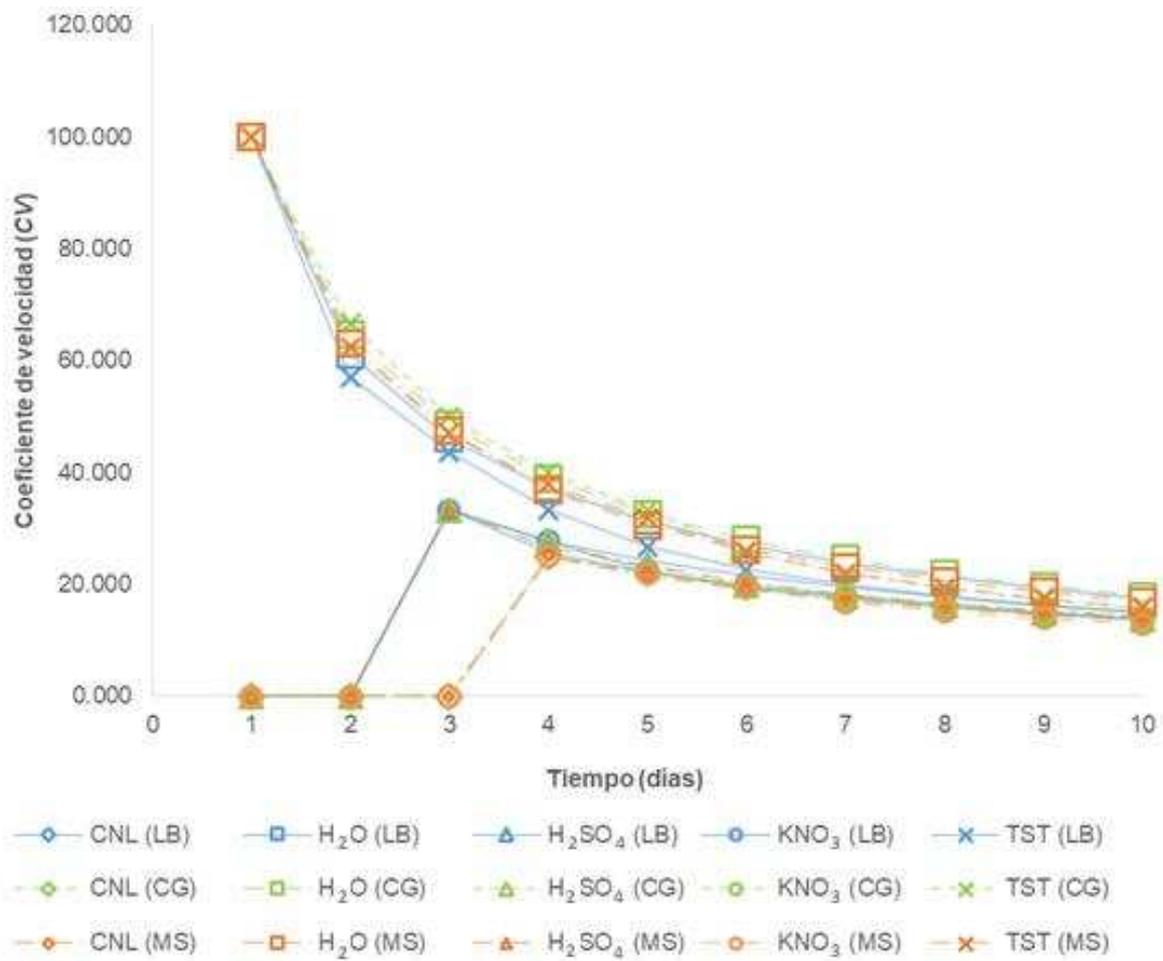


Figura 65. Coeficiente de velocidad para la germinación de semillas con respecto al tiempo para *A. striata*.