



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN TECNOLOGÍA AGRÍCOLA Y FORESTAL SUSTENTABLE

TESIS DE MAESTRÍA

AUTOECOLOGÍA DE BOSQUE RELICTO DE *Tilia americana* L. EN EL MUNICIPIO DE MINERAL DEL CHICO ESTADO DE HIDALGO

**Para obtener el grado de
Maestro en Ciencias en Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable**

PRESENTA

Ing. Antonio Paredes Orta

Director

Dr. Ramón Razo Zárate

Codirector

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Comité Tutorial

Dr. Juan Capulín Grande

Dr. Alfonso Suárez Islas

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., diciembre 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

COORDINACION DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Autoecología de bosque relicto de *Tilia americana* L.en el municipio de Mineral del Chico estado de Hidalgo", que desarrolla el estudiante Antonio Paredes Orta.

Asistentes:

Dr. Ramón Razo Zárate

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dr. Juan Capulín Grande

Dr. Alfonso Suárez Islas

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por Antonio Paredes Orta, comunicando al estudiante, realizó oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

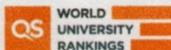
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 02 de diciembre del 2022

Dr. Ramón Razo Zárate

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Dr. Juan Capulín Grande

Dr. Alfonso Suárez Islas



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2430
maestria_agricola_forestal@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias
School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable
Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

ICAP-MCTAFS/011/2022

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E

Por este conducto se le comunica que el Comité Revisor asignado al alumno **Antonio Paredes Orta**, de la Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable, con número de cuenta **216367**, que presenta el manuscrito de tesis titulado **"Autoecología de bosque relicto de *Tilia americana* L. en el municipio de Mineral del Chico estado de Hidalgo"**, ha autorizado la impresión del mismo.

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE

"Amor, Orden y Progreso"

Tulancingo de Bravo, Hgo. al día 02 de diciembre del 2022.

Dra. Eliazar Aquino Torres
Coordinadora de la Maestría en
Ciencias y Tecnología Agrícola y
Forestal Sustentable



Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2430
maestria_agricola_forestal@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Sin duda alguna agradezco a la naturaleza, que se expresa de formas que no comprendemos y solo puedo pensar en una fuerza superior, a la que no conocemos y de alguna forma cada quien la interpreta de diferentes maneras, para algunos es un dios evocado de maneras distintas en cada región del planeta, para otros como las fuerzas creadoras del universo.

Agradezco a mis padres, Marcelino y Ma. De los Ángeles, por enseñarme amar y trabajar en el campo, y por su apoyo constante en mi crecimiento profesional.

Agradezco a mis abuelos por enseñarme a apreciar y respetar la naturaleza de la cual soy uno con ella.

A mis hermanos, Emma y Salvador, con los que comparto el gusto por la naturaleza.

Agradezco al Dr. Ramón Razo Zárate por ser parte fundamental para el desarrollo de este trabajo y por su dedicación a los bosques, al Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna, Dr. Juan Capulín Grande y al Dr. Alfonso Suárez Islas por guiarme en las diferentes etapas del proyecto, por sus observaciones y correcciones en cada seminario. Y a los profesores del programa académico de la Maestría en Ciencias Agrícola y Forestal Sustentable.

Agradezco a mis amigos Emanuel y Karina por su apoyo en los inventarios de flora.

Por ultimo agradezco al CONACYT por la beca otorgada, sin la cual habría sido difícil llevar a cabo este proyecto. A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, mi alma mater, por darme la oportunidad de seguir formándome profesionalmente en sus aulas.

DEDICATORIA

De alguna forma mi constante convicción de luchar por los bosques me ha llevado a escribir este trabajo partiendo de la curiosidad desde niño por saber que árboles eran esos de hojas grandes de aroma peculiar (Los tilos).

Por tal motivo dedico este trabajo a todos los defensores de los bosques, a los que siguen entre nosotros, a los que tristemente han perdido la vida en la lucha por la defensa del medio ambiente y a los profesionales del área ambiental que desde las aulas forman estudiantes empáticos hacia los problemas socio-ambientales del país.

ÍNDICE GENERAL

I.	ÍNDICE DE FIGURAS	1
II.	ÍNDICE DE TABLAS	2
III.	RESUMEN GENERAL	4
IV.	ABSTRACT	5
V.	INTRODUCCIÓN GENERAL	6
VI.	JUSTIFICACIÓN	7
VII.	OBJETIVOS	8
1.	Objetivo general	8
2.	Objetivos específicos.....	8
CAPÍTULO 1.	Revisión de literatura	9
1.1.	Bosques relictos	9
1.2.	Distribución del género <i>Tilia</i> en el mundo	9
1.3.	<i>Tilia americana</i> L., en Norte América	10
1.4.	Distribución en México	11
1.5.	Descripción de <i>Tilia americana</i> L.....	11
1.6.	Usos.....	12
1.7.	Métodos de reproducción.....	12
1.8.	Influencia de los factores del medio físico en la distribución de la vegetación	12
1.8.1.	Clima	13
1.8.2.	Exposición y pendiente	13
1.8.3.	Altitud.....	14
1.8.4.	Suelo.....	14
1.8.4.1.	Características Físicas	14
1.8.4.1.1.	Textura.....	14
1.8.4.1.2.	Densidad aparente	15
1.8.4.1.3.	Humedad del suelo.....	16
1.8.4.1.4.	Porosidad	16
1.8.4.2.	Características Químicas.....	17
1.8.4.2.1.	pH.....	17
1.8.4.2.2.	Materia orgánica	17
1.8.4.2.3.	Nitrógeno	17
1.8.4.2.4.	Conductividad eléctrica	18
1.9.	Ubicación y caracterización del área de estudio.....	18
1.10.	Literatura citada	21
CAPÍTULO 2.	Distribución de <i>Tilia americana</i> L. en Mineral del chico, estado de conservación y fenología.....	26

2.1.	Introducción.....	26
2.2.	Materiales y métodos	27
2.2.1.	Delimitación espacial.....	28
2.2.2.	Estudio dasométrico	28
2.2.3.	Regeneración y formación de brotes vegetativos.....	29
2.2.4.	Fenología	29
2.3.	Resultados	30
2.3.1.	Delimitación espacial.....	30
2.3.2.	Estudio dasométrico	31
2.3.3.	Regeneración y formación de brotes.....	32
2.3.4.	Fenología	34
2.4.	Discusión	37
2.4.1.	Estado de conservación de <i>T.americana</i> L. En el municipio de Mineral del Chico.....	37
2.4.2.	Fenología	38
2.5.	Conclusiones.....	39
2.6.	Literatura citada	39

CAPÍTULO 3. Factores biológicos, climáticos y edáficos que inciden en la distribución de *Tilia americana* L. en Mineral del Chico43

3.1.	Introducción.....	43
3.2.	Materiales y métodos	45
3.2.1.	Área de estudio	45
3.2.2.	Diseño de muestreo	45
3.2.3.	Factores biológicos.....	46
3.2.3.1.	Descripción florística	46
3.2.3.2.	Índice de Valor de Importancia	46
3.2.4.	Análisis de factores fisiográficos.....	48
3.2.4.1.	Altitud.....	48
3.2.4.2.	Pendiente y exposición.....	48
3.2.5.	Factores edáficos	49
3.2.5.1.	Horizontes del suelo	49
3.2.5.2.	Colecta y procesamiento de muestras edáficas	50
3.2.5.3.	Análisis físicos y químicos del suelo.....	51
3.2.5.3.1.	Humedad	51
3.2.5.3.2.	Textura.....	53
3.2.5.3.3.	Densidad aparente	54
3.2.5.3.4.	Porosidad	56
3.2.5.3.5.	pH.....	56
3.2.5.3.6.	Conductividad eléctrica	57
3.2.5.3.7.	Materia orgánica (%MO) y carbono orgánico del suelo (%COS)	58
3.2.5.3.8.	Nitrógeno total (%Nt).....	60
3.2.5.3.9.	Análisis estadístico.....	62
3.2.6.	Análisis de condiciones climáticas	62

3.2.7.	Análisis estadístico multivariado	63
3.3.	Resultados	64
3.3.1.	Factores biológicos	64
3.3.1.1.	Levantamiento florístico	64
3.3.1.1.1.	Dos Sábados	64
3.3.1.1.2.	El Polvorín.....	65
3.3.1.1.3.	Casa Grande.....	67
3.3.1.2.	Índice de valor de importancia	68
3.3.1.2.1.	Dos Sábados	68
3.3.1.2.2.	El Polvorín.....	69
3.3.1.2.3.	Casa Grande.....	72
3.3.2.	Factores fisiográficos	74
3.3.2.1.	Altitud, pendiente y exposición.....	74
3.3.3.	Factores de edáficos	74
3.3.3.1.	Horizontes.....	74
3.3.3.2.	Características físicas y químicas del suelo.....	75
3.3.3.2.1.	Humedad	75
3.3.3.2.2.	Textura.....	78
3.3.3.2.3.	Densidad aparente y Porosidad.....	79
3.3.3.2.4.	pH.....	80
3.3.3.2.5.	Conductividad eléctrica	82
3.3.3.2.6.	Materia orgánica (%MO) y carbono orgánico del suelo (%COS) 82	
3.3.3.2.7.	Nitrógeno total	88
3.3.4.	Análisis climático	91
3.3.5.	Relación entre la composición de la vegetación y las condiciones físicas del terreno y las condiciones ambientales	93
3.4.	Discusión	96
3.4.1.	Factores biológicos	96
3.4.1.1.	Florística	96
3.4.1.2.	Estructura de acuerdo al Índice de Valor de Importancia	97
3.4.2.	Factores fisiográficos y edafológicos.....	99
3.4.2.1.	Factores climáticos	102
3.4.3.	Relación entre vegetación y las condiciones fisiográficas, edafológicas y ambientales	105
3.5.	Conclusiones.....	107
3.6.	Literatura citada	107
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	114
IX.	ANEXO.....	115

I. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de <i>T.americana</i> L. y sus variaciones en Norteamérica (Pigott, 2012)	10
Figura 2. Triángulo de clasificación textural de suelos (Smith y Smith,2007).....	15
Figura 3. Localización del área de estudio	20
Figura 4. Distribución espacial de <i>Tilia americana</i> L. en el municipio de Mineral del Chico, estado de Hidalgo	30
Figura 5. Regeneración en Población Dos Sábados.....	33
Figura 6. Regeneración en Población El Polvorín	33
Figura 7. Regeneración en Población Casa Grande	33
Figura 8. Floración : 8a) inicio de la floración; 8b) fin de la floración	35
Figura 9. Fenología de <i>T. americana</i> L. en población Dos Sábados.....	35
Figura 10. Fenología de <i>T. americana</i> L. en población El Polvorín	36
Figura 11. Fenología de <i>T. americana</i> L. en población Casa Grande	36
Figura 12. Diseño de muestreo.....	45
Figura 13. 13a) Estimación de la pendiente; 13b) Estimación de la exposición del terreno.....	49
Figura 14. Perfil de suelo para las tres primeras capas.....	50
Figura 15. 15a) Extracción de muestra de suelo; 15b) Traslado de muestras; 15c) Secado de las muestras.....	51
Figura 16. 17a) Pesaje de la muestra; 17b) Secado de muestras	52
Figura 17. 17a) Tamizado de suelo con malla de apertura de 2 mm; 17b) Separación de partículas del suelo; 17c) Lectura del hidrómetro	53
Figura 18. Obtención del volumen de terrón.....	55
Figura 19. Lectura de pH	57
Figura 20. Titulación de las muestras de Materia orgánica	59
Figura 21. Titulación de muestras de suelo para Nitrógeno total.....	61
Figura 22. Climatología (1902-2015) obtenida en el Atlas climático digital de México (UNAM); 22a) Temperaturas media mensuales; 22b) Precipitaciones mensuales.....	63
Figura 23. Profundidad de los horizontes del suelo. H= Hojarasca, O= Orgánico y A= Mineral	75
Figura 24. Porcentaje promedio de Humedad gravimétrica: P1: Dos Sábados, P2= El Polvorín y P3= Casa Grande.....	76
Figura 25. Variación de la humedad gravimétrica entre tres diferentes estaciones del año: P1: Dos Sábados, P2= El Polvorín, P3= Casa Grande, OT= Otoño, IN= Invierno y VE= Verano	77
Figura 26. Clasificación textural del suelo para cada población: P1: Dos Sábados, P2= El Polvorín y P3= Casa Grande.....	79
Figura 27. Densidad aparente del suelo: P1: Dos Sábados, P2= El Polvorín y P3= Casa Grande.....	80

Figura 28. Valores promedio del % de MO: P1 : Dos Sábados, P2 = El Polvorín y P3 = Casa Grande.....	83
Figura 29. Variación de % de MO en tres diferentes estaciones del año: P1 : Dos Sábados, P2 = El Polvorín, P3 = Casa Grande, OT = Otoño, IN = Invierno y VE = Verano.....	85
Figura 30. Valores promedio de %COS en la poblaciones: P1 : Dos Sábados, P2 = El Polvorín y P3 = Casa Grande	86
Figura 31. Variación de % COS en tres diferentes estaciones del año: P1 : Dos Sábados, P2 = El Polvorín, P3 = Casa Grande, OT = Otoño, IN = Invierno y VE = Verano.....	87
Figura 32. Variación de %Nt en tres diferentes estaciones del año: P1 : Dos Sábados, P2 = El Polvorín, P3 = Casa Grande, OT = Otoño, IN = Invierno y VE = Verano	90
Figura 33. Climatología promedio (1902-2015) para las poblaciones de <i>T. americana</i> L. En Mineral del Chico, Hgo.....	92
Figura 34. Gráfico de ordenación de las poblaciones, variables ambientales(vectores) y de especies (arbóreas y arbustivas) de los bosques de tilo: P1 = Dos Sábados, P2 = El Polvorín y P3 = Casa Grande; Especies vegetales: Ta = <i>T. americana</i> , Ce = <i>C. excelsa</i> , Fu = <i>F. uhdei</i> , Id = <i>I. discolor</i> , Qa = <i>Q. affinis</i> , Qc = <i>Q. castanea</i> , Ql = <i>Q. laeta</i> , Cm = <i>C. mexicana</i> , Qg = <i>Q. glabrescens</i> , Ab = <i>A. bicolor</i> , Qcf = <i>Q. crassifolia</i> , Bc = <i>B. cordata</i> , Jm = <i>J. mollis</i> , Sm = <i>S. microphyllus</i> , Ae = <i>A. areolaris</i> , Ag = <i>A. glabrata</i> , Bc = <i>B. conferta</i> , Rs = <i>R. serrata</i> , Ra = <i>R. archerborniana</i> , Ph = <i>Phoebe</i> sp, Mel = <i>Meliosma</i> sp, Al = <i>A. ligustrina</i> , Vv = <i>V. virgiata</i> , G1 = <i>G. laurifolia</i> , Rag = <i>R. Angulifolia</i> , R sp2 = <i>Roldana</i> sp.2, Jmon = <i>J. monticola</i> , Spp.1 = <i>V. leucanthum</i> , Spp.2 = Especie sin identificar 2; Climáticas y edafológica: T° = Temperatura, O = Horizonte orgánico, A = Horizonte mineral, Ar = Arena, R = Arcilla, L = Limo, %Po = Pososidad del suelo, %H = Humedad gravimétrica, %COS = Carbono orgánico del suelo, %MO = Materia orgánica del suelo, Nt = Nitrógeno tota...	95
Figura 35. Relictos de bosque de tilia en cañadas protegidas	106

II. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de suelos según la Dap tomado de NOM-021-RECNAT-2000(SEMARNAT 2002).....	16
Tabla 2. Clasificación de la salinidad del suelo	18
Tabla 3. Densidad, dominancia y características de <i>T. americana</i> L.....	31
Tabla 4. Regeneración natural y promedio de brotes vegetativos.....	32
Tabla 5. Dominancia y densidad de arbolado adulto y regeneración natural en diferentes regiones de América del norte.....	37
Tabla 6. Fórmulas para obtener el Índice de Valor de Importancia en Poblaciones de Tilia americana en Mineral del Chico.....	48
Tabla 7. Árboles y arbustos en la población Dos Sábados	65
Tabla 8. Árboles y arbustos en la población El Polvorín.....	66
Tabla 9. Árboles y arbustos en la población Casa Grande.....	67

Tabla 10. Índice de valor de Importancia estrato arbóreo Población Dos Sábados	.69
Tabla 11. Índice de valor de Importancia estrato arbustivo Población Dos Sábados	69
Tabla 12. Índice de valor de Importancia estrato arbóreo Población El Polvorín	70
Tabla 13. Índice de valor de Importancia estrato arbustivo Población El Polvorín	.71
Tabla 14. Índice de valor de Importancia estrato arbóreo Población Casa Grande	.72
Tabla 15. Índice de valor de Importancia estrato arbustivo Población Casa Grande	73
Tabla 16. Datos topográficos	74
Tabla 17. Profundidad de los horizontes superficiales del suelo	75
Tabla 18. Valores promedio de Humedad en el suelo en tres diferentes estaciones del año	78
Tabla 19. Granulometría del suelo en las poblaciones de estudio	78
Tabla 20. Valores promedio de pH del suelo en las poblaciones de T. americana L.	81
Tabla 21. Variación del pH del suelo en tres diferentes estaciones del año	81
Tabla 22. Conductividad eléctrica del suelo	82
Tabla 23. Estadísticas descriptivas de % de MO	83
Tabla 24. Estadística descriptiva de % COS	86
Tabla 25. Estadísticas descriptivas de la variación de %COS en tres diferentes estaciones del año	88
Tabla 26. Estadísticas descriptivas de % Nt	89
Tabla 27. Estadísticas descriptivas de la variación de % Nt en tres diferentes estaciones del año	90
Tabla 28. Afinidad fitogeográfica de especies de BMM	97
Tabla 29. Correlación de Pearson de variables climáticas y edafológicas.	
Correlación en la parte inferior	104

III. RESUMEN GENERAL

La vegetación responde a las variables climáticas, de suelo y a la topografía del terreno donde se encuentra, en cada región estos factores determinan el tipo de vegetación y las especies vegetales que componen un tipo de ecosistema. En el municipio de Mineral del Chico estado de Hidalgo, se localizaron poblaciones relictas de *Tilia americana* L. Dentro de cañadas protegidas de la actividad humana y condiciones climáticas extremas, estas poblaciones tienen superficies menores a una hectárea. Se caracterizan por ser bosques caducifolios de apenas unos 20 m de altura. Estructuralmente los tilos dominan el estrato arbóreo, acompañados por encinos y arbustos del género Asteraceae además se identificaron especies como *Meliosma* sp. y *Phoebe* sp. localizadas únicamente en el bosque mesófilo de montaña. Las cantidad de lluvia anual en estas áreas esta en un rango de entre los 900 a 1200 mm anuales, temperaturas promedio anuales de 14°C, una topografía accidentada y localizados en exposiciones norte en suelos con altos contenidos de materia orgánica, humedad constante en el suelo, pH ligeramente ácidos. Estos aspectos climáticos y físicos del terreno forman el microclima necesario para que estos bosque relictos de *T. americana* L. permanezcan a lo largo del tiempo.

IV. ABSTRACT

Vegetation responds to climatic variables, soil and topography where it is located, in each region these factors determine the type of vegetation and plant species that compose a type of ecosystem. In Mineral del Chico state of Hidalgo, México, relict populations of *Tilia americana* L. were found in ravines protected from human activity and extreme climatic conditions; these populations have areas of less than one hectare. This is a deciduous forests of only about 20 m in height. Structurally, basswood trees dominate the tree layer, accompanied by oaks and shrubs of the genus Asteraceae. *Meliosma* sp. and *Phoebe* sp. were also identified, reported only in the mountain mesophyll forest. The amount of annual rainfall in these areas is in the range of 900 to 1200 mm per year, average annual temperatures of 14°C, a rugged topography and located on northern exposures in soils with high organic matter content, constant soil moisture, slightly acidic pH. These climatic and physical aspects of the terrain form the microclimate necessary for these relict forests of *T. americana* L. to remain over time.

V. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los boques caducifolios de Norte América ocupan granes superficies desde el sur-este de Canadá, el este de Estados Unidos hasta los bosques húmedos templados de México (Hardin, 1990; McCarthy y Mason-Gamer, 2020). En este tipo de vegetación se encuentran algunas especies arbóreas que de acuerdo a estudios fitogeográficos, en el pasado se distribuían hasta Centro América, sin embargo, debido a cambios en el clima a través del tiempo hoy en día algunas especies como *Tilia americana* L. han quedado concentrados en pequeñas poblaciones aisladas. En México esta especie se ha observado principalmente en asociaciones vegetales de bosque mesófilo de montaña (BMM), bosques de pino-encino, encino y oyamel (Rzedowski, 1996; Gual Díaz y Rendón Correa, 2014; Gual-Díaz y Diego-Pérez, 2018) de la especie se tiene registro de ella en 21 estados del país (Villaseñor, 2016). En el estado de Hidalgo *T. americana* L. se ha observado en BMM(Alcántara y Luna, 2001) y en el municipio de Mineral del Chico se tiene registro de la especie en bosque de encino (Paredes et al., 2019).

Existe aún una gran incógnita con la especie por su variación morfológica en Norteamérica, diverso estudios florísticos en México hablan de varias especies del género *Tilia* (Puig, 1976; Pigott, 2012) autores como Hardin(1990) han delimitado el género a solo cuatro especies, sin embargo McCarthy y Mason-Gamer (2020) hacen énfasis en que no es posible hablar de dos o más especies y lo más correcto sería dividir las en dos variedades de *T. ameiricana* L. Es por lo que surge la necesidad de estudiar la mayor cantidad de poblaciones naturales de tilos a lo largo de Norteamérica para poder delimitar de manera correcta la especie(McCarthy y Mason-Gamer, 2020; Ramírez-Díaz et al., 2019).

T.americana L. es una especie de importancia para el desarrollo de fármacos con activos sedativos y ansiolíticos (Aguirre-Hernández et al., 2016) con potencial como árbol ornamental y melífero, además de que tradicionalmente se usado como

remedio para tratar el insomnio en algunas comunidades (Sousa et al., 2008) y al igual tiene uso maderable en EUA, y en México es utilizada para la elaboración de artesanía (Pavón-Hernández y Rico-Gray, 2004), donde la madera generalmente se aprovecha sin ningún tipo de gestión sostenibles, lo que dificulta la regeneración natural a través de vía sexual. Además los métodos para su reproducción asexual y por semillas son escasos y con bajos porcentajes de sobrevivencia (Muñoz et al., 2011; Zurita et al., 2014) por lo anterior la especie se encuentra en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

El estudio de nuevas poblaciones en México que no han sido investigadas es un punto importante para sumar información a el conocimiento de la especie por lo cual es necesario caracterizar y determinar las condiciones en que se encuentra las poblaciones de *Tilia americana* L., en Mineral del Chico, mediante la obtención de datos ecológicos para implementar estrategias de conservación, reproducción y aprovechamiento sustentable de la especie.

VI. JUSTIFICACIÓN

México es un país que cuenta con una gran biodiversidad debido a diferentes factores como lo son su fisiografía, orografía, variedad de climas, su geo-diversidad y la confluencia de dos regiones biogeográficas, neártica y neotropical, lo cual expresa ecosistemas muy diversos, tal es el caso de los bosques mesófilos de montaña en los cuales se desarrolla flora de origen boreal en el estrato arbóreo y flora de origen holártica en el estrato arbustivo. En el estado de Hidalgo se encuentran bosques mesófilos donde las especies que más sobresalen son helechos arborescentes y árboles de *Liquidambar styraciflua* así como una gran variedad arbustos, herbáceas y plantas epifitas. La presencia de especies boreales que sobrevivieron a la última glaciación ha dejado bosques relictos de algunas de ellas tal es el caso del bosque de *Fagus grandifolia* var. mexicana en el municipio de Zacualtipán, Hgo., los cuales son de interés para su conservación. En Mineral del chico se han observado pobla-

ciones de *Tilia americana* L. (Paredes et al., 2019) que es necesario estudiar para tener información sobre su ecología y aportar datos para la conservación, reproducción y aprovechamiento sustentable de la especie. Con la información generada se ampliará la información sobre la vegetación del municipio y del estado, lo que aportará en las estrategias para recuperar especies en peligro de extinción.

VII. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Caracterizar las poblaciones de *Tilia americana* L. en el municipio de Mineral del Chico mediante la obtención de datos ecológicos cuantitativos que permitan diseñar estrategias de conservación y aprovechamiento sustentable de la especie.

2. Objetivos específicos

- Conocer la distribución de *Tilia americana* L. en Mineral del chico y su estado de conservación.
- Caracterizar los estados fenológicos de las poblaciones de *Tilia americana* L. en el lugar.
- Determinar los factores físicos y biológicos que inciden en la presencia de *Tilia americana* L. en Mineral del Chico.

CAPÍTULO 1. Revisión de literatura

1.1. Bosques relictos

En México se localizan diversos bosques de este tipo como son los bosques relictos de Haya y Arce azucarero (Vargas-Rodríguez, 2011; Ortiz-Quijano et al., 2016) la mayoría de estos se encuentran en ecosistemas de bosque mesófilo de montaña donde la vegetación arbórea predominante es de origen boreal (Rzedowski, 1996) el establecimiento de estas especies fue dado por fenómenos geológicos y ambientales durante el período terciario y el pleistoceno cuando las condiciones ambientales eran más frías y húmedas . Actualmente su distribución se restringe en barrancas húmedas y condiciones micro-ambientales necesarias para su desarrollo (Vargas-Rodríguez, 2011; Castillo-Batista, 2016).

1.2. Distribución del género *Tilia* en el mundo

Los tilos son especies que en se distribuyen en el hemisferio norte en climas que en su mayoría van de templados a fríos, en climas tropicales sólo se ha observado en México y Vietnam. Se habla de que hay no más de 24 especies distribuidas en el mundo (Pigott, 2012). En Norteamérica *Tilia americana* L. está distribuida desde el este de Canadá y los Estados Unidos hasta México en la franja Transvolcánica de México, Sierra madre Oriental y Sierra Madre Sur en fracciones de bosque mesófilo de montaña (Gual Díaz y Diego Pérez, 2018; Rzedowski, 1996).

1.3. *Tilia americana* L., en Norte América

Hardin (1990) reconoce cuatro variedades de *Tilia americana* para Norteamérica y una para México, *Tilia americana* var. *mexicana*, además de mencionar que la clasificación taxonómica para tilia es problemática (Figura 1). Otros autores mencionan especies del género *Tilia* en México como lo son *T. houghi*, *T. mexicana* (Puig, 1976; Rzedowski, 1996) que en la actualidad son sinonimias de *Tilia americana* L. (Gual-Díaz y Diego-Pérez, 2018) y a su vez Villaseñor (2016) solo menciona un solo espécimen de *Tilia* en su lista de verificación de plantas vasculares de México. Recientemente en estudios de la variación morfológica y de ADN mencionan que no es posible que existan dos o más especie de *Tilia* en Norteamérica y da por entendido que solo es una especie, de tal manera que solo se asume la existencia de dos variedades de *T. americana* L. en América del Norte (McCarthy y Mason-Gamer, 2020).



Figura 1. Distribución de *T. americana* L. y sus variaciones en Norteamérica (Pigott, 2012)

1.4. Distribución en México

En los estudios de vegetación en México se ha observado que *Tilia americana* L. se distribuye principalmente en bosques mesófilos de montaña (Rzedowski, 1996) pero también se indica su presencia en bosque de encino y bosque de oyamel, en los estados de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Veracruz (Gual-Díaz y Diego Pérez, 2018; Villaseñor, 2016).

1.5. Descripción de *Tilia americana* L.

Los tilos son árboles de 5 a 22 m de alto; tallos estrellado pubescentes, glabrescentes; hojas con pecíolos, 2-5 cm de largo, densamente estrellado-pubescentes, láminas de 6-25 cm de largo, 3.5-15 cm de ancho, haz glabro o espaciadamente estrellado-pubescente, envés densamente estrellado-pubescente; inflorescencia, 8-17 cm de largo, pedúnculos 4-8.5 cm de largo, pedúnculo y bráctea densamente estrellado-pubescentes; ores 6.5-18 mm de diámetro, pedicelos 5-12 mm de largo, densamente estrellado-pubescentes, sépalos 4-18 mm de largo, 3-5 mm de ancho, margen entero, haz con tricomas simples y estrellados, envés cortamente estrellado-pubescente; pétalos espatulados, obovados u ovados, 4-9 mm de largo, 2-4 mm de ancho, ápice redondeado, margen entero; estambres connados formando 10-15 falanges, filamentos liformes, 2.5-5 mm de largo, bifurcados en el ápice, cada bifurcación portando 1 teca, estaminodios espatulados, 3-6 mm de largo, 1.5-2.5 mm de ancho, ápice redondeado, intercalados entre 2-3 fascículos; ovario 1.5-2 mm de largo y ancho, lobulado, estilo rollizo, 1.5-7 mm de largo; frutos 5-10 mm de largo y ancho,

semillas color pardo oscuro, 5-8 mm de largo, 3-4 mm de ancho (Gual-Díaz y Diego-Pérez, 2018).

1.6. Usos

Tradicionalmente *T.americana* L. es usada para aliviar dolores de cabeza e insomnio y el extracto de la planta tiene efectos ansiolíticos y sedativos (Sousa et al., 2008). Pavón-Hernández y Rico-Gray (2004) mencionan que en el centro de Veracruz dicha especie es usada para forraje de ganado.

1.7. Métodos de reproducción

Las especies de *Tilia* en México tienen problemas de propagación, su semilla es de germinación retardada por la presencia de inhibidores, de una cubierta impermeable, que presenta dormancia en el embrión y pericarpio resistente. Mediante métodos asexuales se han obtenido resultados alentadores para reproducción a través de estacas de 20 cm de largo por 1.5 cm de diámetro aplicándoles enraizadores (Muñoz et al., 2011).

1.8. Influencia de los factores del medio físico en la distribución de la vegetación

Las variaciones del clima, como temperatura y precipitación en combinación con factores edafológicos, topográficos y orográficos determinan la presencia de los tipos de vegetación en la tierra. Por tanto, los organismos responden a los factores ambientales y cuando estos encuentran los rangos de tolerancia de cada una de las variables medioambientales estas pueden habitar un lugar (Smith y Smith, 2007).

1.8.1. Clima

La temperatura se relaciona con las precipitaciones anuales, al disminuir la temperatura media anual las precipitaciones disminuyen, esto se debe a la interacción de la humedad con la temperatura generando los patrones de lluvias, de ecuador a los extremos norte y sur del planeta las precipitaciones incrementan sistemáticamente, esto determina la estación de crecimiento de las plantas, y por tanto las variaciones de temperatura y lluvias dan origen a los diversos ecosistemas en el planeta (Smith y Smith, 2007).

El clima en diferentes regiones del planeta varía en función de la latitud y altitud, así podemos apreciar que las latitudes norte y sur extremas del planeta presentan la temperaturas promedio más bajas y estas aumenta a medida que se acerca el ecuador (Smith y Smith, 2007). La interacción entre temperatura y precipitación da lugar a ciertas condiciones para el desarrollo de la vegetación, así zonas con pocas lluvias y temperaturas altas originan ecosistemas áridos donde la vegetación es escasa, y por otro lado temperaturas y precipitaciones altas originan ecosistemas tropicales como selvas perennifolias.

El territorio mexicano presenta una topografía muy accidentada, gran número de sistemas montañosos con grandes altitudes, y su ubicación a ambos lados del trópico de cáncer más la influencia de la masa continental determinan el clima del país. La combinación de la complicada topografía, las diferencias entre latitud y altitud resultan en un complejo mosaico de climas (Rzedowski, 1978).

1.8.2. Exposición y pendiente

La exposición del terreno y su pendiente son factores que en combinación generan ciertas características microambientales como la cantidad de luz solar que reciben las plantas, y por consecuencia modifican factores como la humedad en suelo y

ambiente (Smith y Smith,2007), para el hemisferio norte la exposición norte son en su mayoría las que mayor desarrollo de vegetación tienen, la pendiente influye en la cantidad de humedad retenida por el suelo y la transformación de la materia orgánica y por consecuencia la disponibilidad de nutrientes provenientes de la acumulación de la materia orgánica (Cruz-Cárdenas et al., 2016).

1.8.3. Altitud

Se presenta correlación entre los tipos de vegetación y la variación altitudinal en las zonas montañosas debido a la disminución de temperatura a medida que aumenta la altura. La composición de las especies de los bosques va cambiando a lo largo de un gradiente altitudinal (Soethe et al., 2006).

1.8.4. Suelo

El suelo es el medio más importante para el crecimiento de la vegetación, ya que en él se controla el destino del agua, es donde los residuos vegetales y animales se descomponen en elementos nutritivos.

El suelo es un conjunto de masas de tierras naturales que está compuesto principalmente por materia orgánica, minerales y microorganismos (Smith y Smith, 2007).

1.8.4.1. Características Físicas

1.8.4.1.1. Textura

El suelo está constituido en su fase sólida por fracciones de materiales de diferentes tamaños a esto se le conoce como granulometría o textura, formado por tres partículas: arena, su tamaño oscila entre 0.05 a 2 mm de diámetro; limo, de 0.002 a 0.5 mm; arcilla, su tamaño es de menos de 0.002 mm.

Las cantidades que se encuentren en cada suelo de cada una de estas tres partículas

Tabla 1. Clasificación de suelos según la Dap tomado de NOM-021-REC NAT-2000(SEMARNAT 2002)

Tipo de suelos	g cm ⁻³
Volcánicos y orgánicos	< 1
Minerales	
Arcillosos	1.0 a 1.19
Francos	1.20 a 1.32
Arenosos	>1.32

1.8.4.1.3. Humedad del suelo

La humedad del suelo es uno de los principales factores que controlan la vegetación, dependiendo de su abundancia o escasez, está delimita los tipos de ecosistemas que se desarrollen en un espacio determinado (Tenelanda-Patiño et al., 2018).

Los contenidos de humedad en el suelo están determinados por los contenidos en limo, arena y arcilla, el contenido de materia orgánica, así como factores topográficos y climáticos. En general suelos con altos contenidos de arena retienen menor humedad, así suelos con porcentajes altos de arcilla, limo y materia orgánica (MO) tienen mayor capacidad de retención de agua (Tenelanda-Patino et al., 2018; Béjar et al., 2020).

1.8.4.1.4. Porosidad

La porosidad del suelo es fundamental para el flujo de agua y aire en el suelo, el

cual está determinado por el tamaño, abundancia y distribución de poros. La porosidad es un indicador de la calidad del suelo ya que determina la capacidad de almacenar agua y mantener las propiedades físicas, químicas y biológicas entre las diferentes fases del suelo (González-Barrios et al., 2011).

1.8.4.2. Características Químicas

1.8.4.2.1. pH

El pH es la concentración de iones hidrógeno en una disolución. El pH es un parámetro que influye en la fertilidad del suelo. Dependiendo de la pH del suelo se puede inferir la disponibilidad de algunos elementos, así en suelos ácidos se aumenta la concentración de aluminio y manganeso (Rivera, 2018).

1.8.4.2.2. Materia orgánica

La materia orgánica (MO) en el suelo está constituida de elementos descompuestos provenientes de plantas, animales y microorganismos depositados en el suelo. Es importante para el ciclo de nutrientes y la formación de agregados en el suelo, mejora las características físicas y químicas del suelo además de ser fuente de energía para microorganismos del suelo. Suelos con porcentajes por arriba del 4% MO llegan a aportar 69.6 Kg de N ha⁻¹ (González y Candás, 2004; Trinidad-Santos y Velasco-Velasco, 2016).

1.8.4.2.3. Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los macro-elementos (López Ríos y Rosas López, 2016) elementales para la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y aminoácidos. Es un regulador de crecimiento y es parte de la reproducción celular (Restrepo Rivera y Agredo España, 2020).

1.8.4.2.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se refiere a la capacidad que tiene la solución del suelo de transmitir corriente eléctrica y es un indicador indirecto del contenido de sales en el suelo la unidad de medida usada es dS m^{-1} (Andrades et al., 2015). Los contenidos altos de sales en suelos pueden afectar el desarrollo de las plantas y los suelos se clasifican de acuerdo con la Tabla 2 de la NOM-021-RECNAT-2000(SEMARNAT, 2002).

Tabla 2. Clasificación de la salinidad del suelo

CE dS m^{-1} a 25°C	Efectos
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 – 4.0	Moderadamente salino
4.1 – 8.0	Suelo salino
8.1 – 16.0	Fuertemente salino
>16.0	Muy fuertemente salino

1.9. Ubicación y caracterización del área de estudio

El área en donde se realizó el trabajo se encuentra en el municipio de Mineral del Chico, en la vertiente del Río del Milagro entre las coordenadas $20^{\circ}13'03''$ N, $98^{\circ}44'07''$ O y $20^{\circ}13'55''$ N, $98^{\circ} 44' 27''$ O (Figura 3) a una altitud promedio de 2200 metros sobre el nivel del mar, el clima que predomina es clima templado con temperatura media anual de 14.1°C , precipitación anual de 1148 mm. El afluente per-

tenece a la subcuenca del río Amajac, Cuenca del río Moctezuma y a la región Hidrológica No. 26 Río Pánuco.

En la área de estudio el tipo de vegetación aledaña corresponde a bosque de encino y vegetación riparia. El origen geológico es de tipo ígneo siendo el sustrato geológico principal Andesita-Brecha volcánica andesítica (A Bva) de acuerdo a la carta geológica Pachuca (INEGI,1984) y en cuanto a la edafología predominan el grupo de suelo Cambisoles (INEGI, 2007) y en segundo nivel aparece el Regosol, ambos con una textura media (CMsknhu+RGdy/2).

Las características de estos suelos se describe a continuación: *Cambisol húmico endoesquelético* (CMsknhu) son suelos jóvenes con variación en el contenido de arcillas, se observa cambios de coloración en los horizontes, contienen acumulaciones moderadas de calcio, magnesio, hierro y arcilla. Se clasifican como ricos en carbono orgánico mayor al 1%, predominan gravas y fragmentos rocosos entre 40% a 90% en profundidades de entre los 50 cm y 100 cm (INEGI, 2015).

Los suelos *Regosol districo* (RGdy) son suelos pedregosos, de coloración clara heredada de la roca madre de origen, estos suelos se encuentran en zonas montañosas o áridas. Clasificados como suelos con horizontes con una saturación de bases menor al 50%, pH ácidos y se mantiene con humedad la mayor parte del año(INEGI,2015).

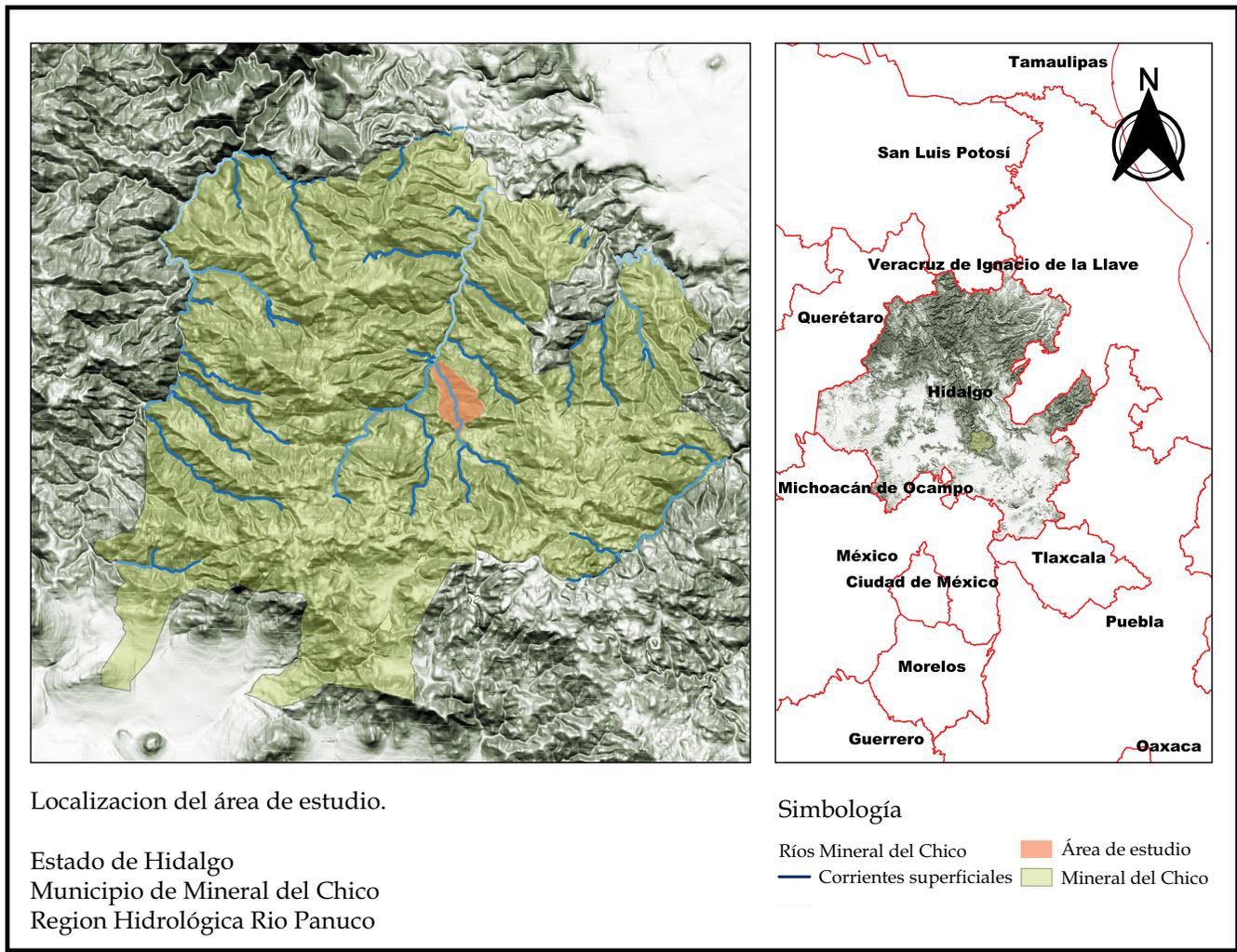


Figura 3. Localización del área de estudio

1.10. Literatura citada

- Agostini, M. D. A., Monterubbianesi, M. G., y Studdert, G. A. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *32(2)*, 171-176.
- Aguirre-Hernández, E., González-Trujano, M. E., Terrazas, T., Santoyo, J. H., y Guevara-Fefer, P. (2016). Anxiolytic and sedative-like effects of flavonoids from *Tilia americana* var. *mexicana*: GABAergic and serotonergic participation. *Salud Mental*, *39(1)*, 37-46. <https://doi.org/10.17711/SM.0185-3325.2015.066>
- Alcántara-Ayala, O., y Luna-Vega, I. (2001). Análisis florístico de dos áreas con bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa. *Acta Botanica Mexicana*, *54*, 51. <https://doi.org/10.21829/abm54.2001.868>
- Andrades Rodríguez, M., Moliner Aramendía, A., y Masaguer Rodríguez, A. (2015). Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos. Universidad de la Rioja.
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J. T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F., y López-Sandoval, J. A. (2016). Modelado de la distribución potencial de especies de Pinaceae bajo escenarios de cambio climático en Michoacán. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *22(2)*, 135-148. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.027>
- Castillo-Batista, A. P. del., Figueroa-Rangel, B. L., Lozano-García, S., Olvera-Vargas, M., y Guzmán, R. C. (2016). Historia florística y ambiental del bosque mesófilo de montaña en el centro-occidente de México durante la pequeña edad de hielo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *87(1)*, 216-229. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.021>
- Fernández, R. J., y Trillo, N. (2005). La textura del suelo como fuente de heterogeneidad ; sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas. *Researchgate*, January 2005, 171-192. <https://www.researchgate.net/profile/Roberto->

[Fernandez-10/publication/319872937_La_textura_del_suelo_como_fuente_de_heterogeneidad_sus_efectos_sobre_la_oferta_de_agua_para_las_plantas/links/59be7c51a6fdcca8e56cacfc/La-textura-del-suelo-como-fuente-de-hete](#)

González Parra, J., y Candás Villar, M. a A. (2004). Materia orgánica de suelos bajo encinas . Mineralización de carbono y nitrógeno. Invest Agrar: Sist Recur For, Fuera de s, 75–83.

González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., y Valenzuela-Núñez, L. M. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. Terra Latinoamericana, 29(4), 369–377.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000400369&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Gual-Díaz, M. y A. R.-C. (comps.). (2014). Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, ecología y manejo. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad, 352.

http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pdf/BosquesMesofilos_montana_baja.pdf

Gual-Díaz, M., y Diego-Pérez, N. (2018). Diversity of subfamilies Grewioideae y Tilioideae (Malvaceae) in the state of Guerrero, México. Acta Botánica Mexicana, 2018(122), 33–96. <https://doi.org/10.21829/abm122.2018.1161>

Hardin, J. W. (1990). Variation Patterns and Recognition of Varieties of *Tilia americana* s.l. Systematic Botany, 15(1), 33. <https://doi.org/10.2307/2419014>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía).2984. Carta geológica Pachuca de Soto F14D81 escala 1: 50 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. – México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2007). Carta edafológica Pachuca de Soto F14-11. Serie II escala 1: 250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. – México.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía(INEGI). (2015). Guía para la interpretación de la cartografía Edafología Escala 1:250 000 Serie III. 1-60.
- Janeth Bejar Pulido, S., Cantú Silva, I., Inés Yáñez Díaz, M., y Orlando Luna Robles, E. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 30-50.
- López Ríos, G. F., y Rosas López, U. Y. (2016). *Ecofisiología de árboles* (3ª edición ed.). Texcoco, Edo.de México, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- McCarthy, D. M., y Mason-Gamer, R. J. (2020). Morphological variation in North American *tilia* and its value in species delineation. *International Journal of Plant Sciences*, 181(2), 175-195. <https://doi.org/10.1086/706781>
- Muñoz Flores, H. J., Orozco Gutiérrez, G., García Magaña, J., Coria Avalos, V. M., Salgado Garciglia, R., y Santiago Santiago, M. D. R. (2011). Épocas de colecta y tratamientos para enraizamiento de estacas de cirimo *Tilia mexicana* Schlecht. (Tiliaceae). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 13-24. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i3.626>
- Ortiz-Quijano, A. B., Sánchez-González, A., López-Mata, L., y Villanueva-Díaz, J. (2016). Population structure of *Fagus grandifolia* subsp. *Mexicana* in the cloud forest of Hidalgo state, Mexico. *Botanical Sciences*, 94(3), 483-497. <https://doi.org/10.17129/botsci.515>
- Paredes Orta, A., Razo Zárate, R., Rodríguez Laguna, R., y Suárez Islas, A. (2019). Diversidad de especies arbóreas y arbustivas del ejido El Puente, Mineral del Chico, Hidalgo. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 13. <http://www.reibci.org/publicados/2019/oct/3700105.pdf%0AAllP>
- Pavón-Hernández, NP. y Rico-Gray, V. (2004). Distribución espacial de *Tilia mexicana* Schlecht. (Tiliaceae) en el paisaje del centro del Estado de Veracruz, México. *Universidad y Ciencia*, 20(39), 29-32.

- Pigott, D.(2012). Lime-trees and Basswoods: A biological monograph of the genus *Tilia*. United Kingdom: Cambridge University press.
- Restrepo Rivera, J., y Agredo España, D. (2020). Mierda a la Carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Cali, Colombia: Imágenes Gráficas BIC S.A.S.
- Rivera, E. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de investigaciones científicas*, 4, 101-105.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Distrito Federal, México: Limusa.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35, 25-44.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.31 de diciembre de 2002. México, D.F., México.
- Smith, T., y Smith, R. L. (2007). *Ecología* (6ª edición). Madrid, España: Pearson Education.
- Soethe, N., Lehmann, J. y Engels, C. (2006). The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian mountain forest. *Plant Soil* 286: 287-299.
- Sousa, F. C. F., Melo, C. T. V., Citó, M. C. O., Cavalcante Félix, F. H., Vasconcelos, S. M. M., Fonteles, M. M. F., Barbosa Filho, J. M., y Viana, G. S. B. (2008). Plantas medicinais e seus constituintes bioativos: uma revisão da bioatividade e potenciais benefícios nos distúrbios da ansiedade em modelos animais. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 18(4), 642-654. <https://doi.org/10.1590/s0102-695x2008000400023>
- Tenelanda-Patiño, D., Crespo-Sánchez, P., y Mosquera-Rojas, G. (2018). Umbrales en la respuesta de humedad del suelo a condiciones meteorológicas en una ladera Altoandina. *Maskana* 9(2), 53-65. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.02.07>
- Trinidad-Santos, A., y Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agroproductividad* 9(8), 52-58.

- Vargas-Rodríguez, Y. L. (2011). Una población relictica de *Acer saccharum* subsp. *skutchii* (Aceroideae) en el estado de Guerrero, México. *Acta Botánica Mexicana* 95, 11-28.
- Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Zurita Valencia, W., Gómez Cruz, J., Atrián Mendoza, E., Hernández García, A., Granados García, M., García Magaña, J., Salgado Garciglia, R., y Sánchez Vargas, N. (2014). Establecimiento de un método eficiente de germinación in vitro y micropropagación del cirimo (*Tilia mexicana* schlecht.) (Tiliaceae). *Polibotánica*, 0(38), 129-144.

CAPÍTULO 2. Distribución de *Tilia americana* L. en Mineral del chico, estado de conservación y fenología

Resumen

Tilia americana L. Tiene un estatus en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010. En Mineral del Chico se encontraron 3 poblaciones relictas bien definidas (“Dos Sábados”, “El Polvorín” y “Casa Grande”) las cuales se delimitaron a través de recorridos en campo con la ayuda de navegador GPS y SIG, las superficies de las poblaciones son menores a una hectárea, para la toma de datos dasométricos se utilizó un diseño de muestreo aleatorio estratificado con parcelas de muestreo de 100 m², tomando el diámetro a 1.30 m para estimar el área basal (AB) y la cantidad de individuos por hectárea. La población el Polvorín presentó una AB de 16.096 m²ha⁻¹ y 508 individuos ha⁻¹, 7.28 m²ha⁻¹ y 288 individuos ha⁻¹ en Casa Grande, 4.39 m²ha⁻¹ y 333 individuos ha⁻¹ en Dos Sábados. En la regeneración se encontraron valores de 708 árboles en la población El polvorín, 467 en Dos sábados y 338 árboles por hectárea en Casa Grande. Con respecto a los valores estimados en AB e individuos por hectárea, la población el Polvorín presentó una densidad mayor tanto en arbolado adulto como en regeneración, la densidad de arbolado adulto muestra una relación directa con la densidad en regeneración. A pesar de que *T. americana* L. está en peligro de extinción, en todas las localidades estudiadas se presenta regeneración natural abundante.

Palabras clave: Distribución espacial, peligro de extinción, bosques relictos.

2.1. Introducción

Tilia americana L., es una especie de amplia distribución en América del Norte (Hardin, 1990;Rzedowski, 1996; McCarthy y Mason-Gamer, 2020). En México y en el estado de Hidalgo su localización se restringe principalmente al bosque mesófilo de montaña (BMM) y en segundo orden en los bosques de encino (Rzedowski,

1996; Alcántara y Luna, 2001; Villaseñor, 2016). En el BMM ha encontrado las condiciones adecuadas para su desarrollo al igual que otras especies de origen boreal como es el caso de *Fagus grandifolia var. mexicana*, *Liquidambar styraciflua.*, y *Acer saccharum* subsp. *skutchii*. que se extendieron en el país durante las últimas glaciaciones (Pigott, 2012; Castillo-Batista et al., 2016).

Debido a su distribución en ecosistemas fuertemente afectados por la deforestación, sobreexplotación de sus flores para uso medicinal y el uso de las hojas como forraje para ganado, sus poblaciones han decrecido (Pavón-Hernández y Rico-Gray, 2004; Aguirre-Hernández et al., 2016) circunstancias por las cuales se encuentra en peligro de extinción dentro del territorio nacional de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

El conocimiento del estado de conservación de poblaciones naturales así como su fenología aporta información para futuros programas de conservación y reproducción de la especie en el estado de Hidalgo, donde son pocos los trabajos que abordan estudios sobre su distribución y fenología.

Derivado del trabajo de flora del ejido el Puente realizado por Paredes et al., (2019) donde hacen mención de la presencia de *T. americana* L. en el municipio de Mineral del Chico Hidalgo, fue cómo nació realizar este trabajo con el objetivo de determinar la distribución espacial y densidad en arbolado adulto, regeneración y su capacidad de emisión de brotes vegetativos así como describir las etapas fenológicas de la especie.

2.2. Materiales y métodos

El área de estudio se encuentra en el municipio de Mineral del Chico, en la vertiente del Río del Milagro entre las coordenadas 20°13'03" N, 98°44'07" O y 20°13'55" N, 98° 44' 27" O a una altitud promedio de 2200 metros sobre el nivel del mar, el clima que predomina es clima templado con temperatura media anual de 14.1 °C, precipitación anual de 1148 mm (Servicio meteorológico Nacional, 2010). El afluen-

te pertenece a la subcuenca del río Amajac, Cuenca del río Moctezuma y a la región Hidrológica No. 26 Río Pánuco.

2.2.1. Delimitación espacial

La presencia de *Tilia americana* L. en Mineral del Chico fue publicada en un estudio florístico de la vegetación arbórea y arbustiva del ejido El Puente, siendo la primera vez que se realiza el reporte de la especie en el municipio, el estudio fue realizado por Paredes et al. (2019) la especie fue ubicada en una zona en la vertiente del río del Milagro.

A partir de lo anterior, se realizaron recorridos en campo para identificar áreas con presencia de *T. americana* L. de tal manera que su distribución fuera continua y homogénea. La delimitación de las Poblaciones se realizó con un navegador GPS marca Garmin 78s con antena GLONASS para aumentar la precisión en el levantamiento, posteriormente se elaboró la cartografía en un sistema de información geográfica (SIG) del paquete Qgis 3.6©.

2.2.2. Estudio dasométrico

Para el levantamiento de datos se utilizó un diseño de muestreo aleatorio estratificado, con parcelas de muestreo de 100 m². Se midió el diámetro normal (DAP) a 1.30 m de la base de las especies arbóreas dentro de la parcela, para lo cual se midieron individuos mayores a 10 cm de diámetro con cinta diamétrica Forestry Suppliers™, también se midieron las alturas con un Hipsómetro laser marca Nikon Forestry Pro™.

2.2.3. Regeneración y formación de brotes vegetativos

Se evaluó la regeneración natural de *T. americana* L. y la formación de brotes vegetativos en árboles adultos, con el fin de conocer la capacidad de la especie para reproducirse. Para la cuantificación de la regeneración natural se utilizó un cuadrante de 5 m², dentro de la parcela de muestreo, el diámetro se midió a individuos con tallos menores de 10 cm para plantas con altura menor a 1.50 m el diámetro fue tomado en la base de la plántula y a individuos mayores a 1.5 m a la altura de 1.30 m de acuerdo a la metodología propuesta por Paredes et al. (2019).

La evaluación de formación de brotes vegetativos se realizó en todos los árboles adultos, contando el total de brotes presentes en cada individuo.

La información recolectada se analizó categorizando en intervalos de 5 cm el DAP para cada población y se aplicó la distribución Log-norm (Palacios-Wassenaar et al., 2016) para visualizar la distribución de individuos de acuerdo con su diámetro. Se estimó la densidad por hectárea en arbolado adulto y regeneración para cada población y el área basal en arbolado adulto.

2.2.4. Fenología

La toma de datos de las diferentes etapas fenológicas de la especie se llevó a cabo durante un año en donde se evaluó la duración de la formación de hojas, la floración, fructificación y caída de hojas de la especie, en el ANEXO se integra la hoja de toma de datos. Por cada población se utilizaron 3 árboles adultos los cuales se etiquetaron y georreferenciaron para realizar la toma de datos cada 15 días, los datos de los 3 individuos se promediaron en cada población (Mostacedo y Fredericksen, 2000; Yu et al., 2016).

En adición a lo anterior se tomó información sobre el clima del atlas climático de México para ver el comportamiento de cada etapa de acuerdo a las condiciones climáticas prevalecientes en la zona.

2.3. Resultados

2.3.1. Delimitación espacial

En el municipio de Mineral del Chico se encontraron 3 poblaciones bien definidas de *Tilia americana* L. en pequeñas superficies distribuidas a lo largo de la vertiente del río del Milagro en Mineral del Chico (Figura 4) las superficies son menores a una hectárea, en la Población “Dos Sábados” se estimó una superficie de 0.245 ha, en “El Polvorín” 0.685 ha y en la población “Casa Grande” una superficie de 0.425 ha.

Se observaron características del terreno comunes entre las poblaciones de estudio: La topografía es muy accidentada, la inclinación del terreno oscila entre el 80 y 100% de pendiente, mientras que las tres poblaciones están orientadas al noroeste entre los 320° a 350° azimut, todas ubicadas en cañadas protegidas.

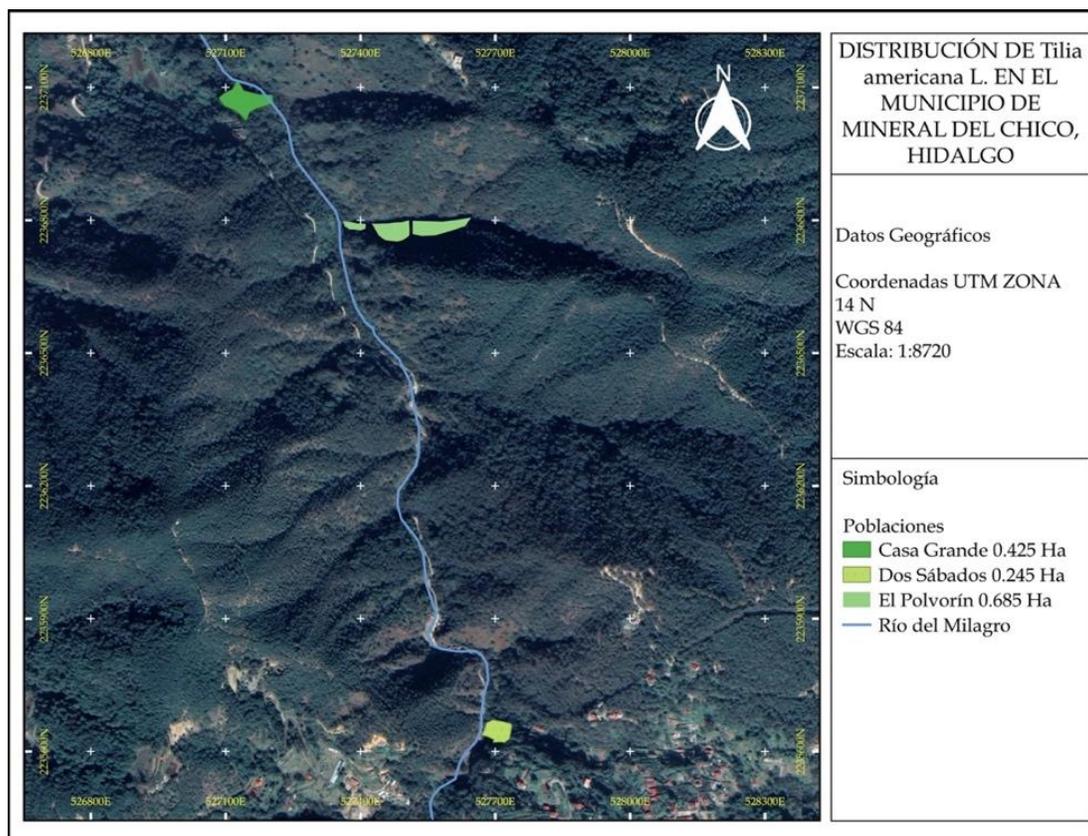


Figura 4. Distribución espacial de *Tilia americana* L. en el municipio de Mineral del Chico, estado de Hidalgo

2.3.2. Estudio dasométrico

En cuanto a las características dasométricas del arbolado se observaron que los individuos adultos presentaron diámetros entre 12 y 17 cm en promedio, y las alturas promedio no superan los 15 metros. Se encontraron densidades de 508-288 Individuos por hectárea, el área basal osciló entre 4 y 16 m² ha⁻¹ entre poblaciones, siendo la población El Polvorín con los valores más altos de densidad y dominancia (Tabla 3).

Tabla 3. Densidad, dominancia y características de *T. americana* L.

Población	Árboles	Árboles	DAP	H	n
	Ind ha ⁻¹	AB m ² ha ⁻¹	Arbolado \bar{X} (\pm SD)	Arbolado \bar{X} (\pm SD)	
Dos Sábados	333	4.39	12.72(2.56)	8.84(1.32)	3
El Polvorín	508	16.096	16.93(10.53)	10.49(8.41)	8
Casa Grande	288	7.28	17.02(5.86)	9.77(2.82)	13

Ind ha⁻¹= Individuos por hectárea; **AB**= Área basal; **DAP**= Diámetro a la altura del pecho; **H**=Altura; **\bar{X}** = Media; **SD**=Desviación estándar.

2.3.3. Regeneración y formación de brotes

Con los datos obtenidos de la formación de brotes vegetativos se pudo cuantificar que la especie produce entre 2 y 4 brotes por cada individuo adulto (Tabla 4).

La distribución de acuerdo a las clase diamétricas mostró un gran número de individuos de diámetros inferiores a 2.5 cm en todas las poblaciones y los ajuste de la distribución Log-norm muestran una distribución de "J" invertida (Figuras 5, 6 y 7) en todas las localidades estudiadas y abundante regeneración natural (Tabla 4).

Tabla 4. Regeneración natural y promedio de brotes vegetativos

Población	Regeneración Ind ha ⁻¹	Brotes vegetativos	No. de parcelas
Dos Sábados	1867	2.2	3
El Polvorín	2831	2.9	8
Casa Grande	1350	4.26	13

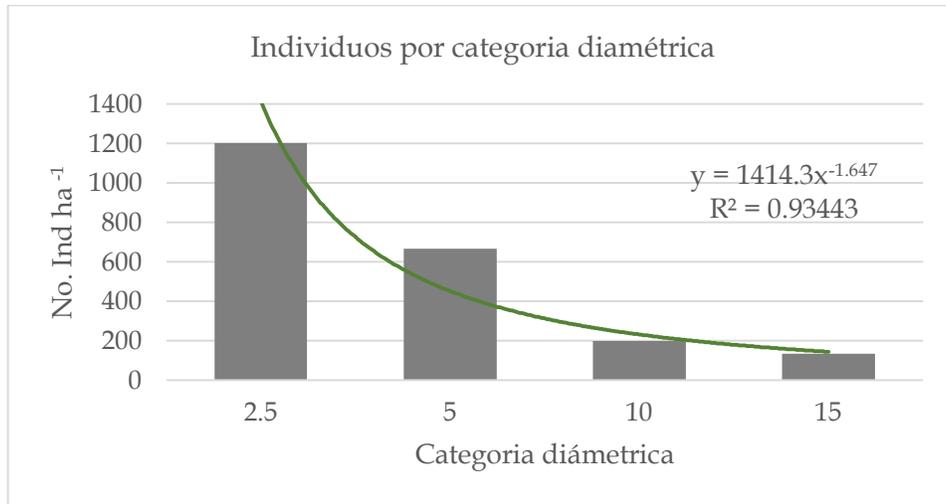


Figura 5. Regeneración en Población Dos Sábados

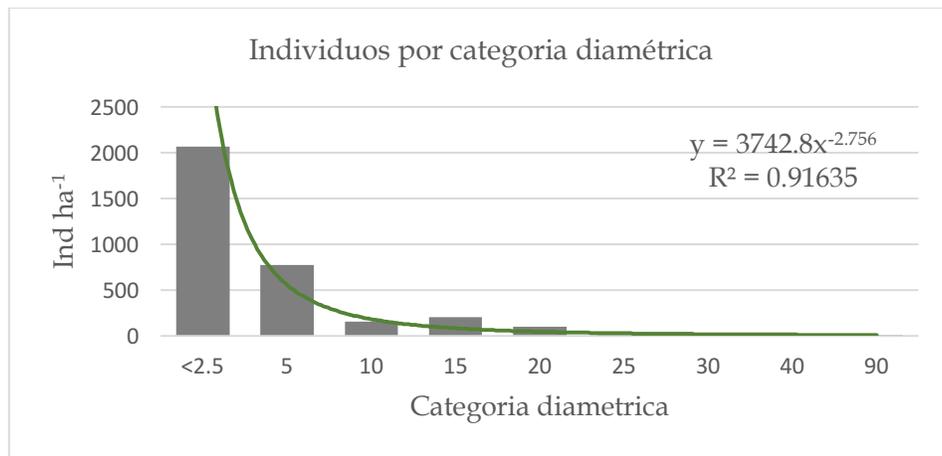


Figura 6. Regeneración en Población El Polvorín

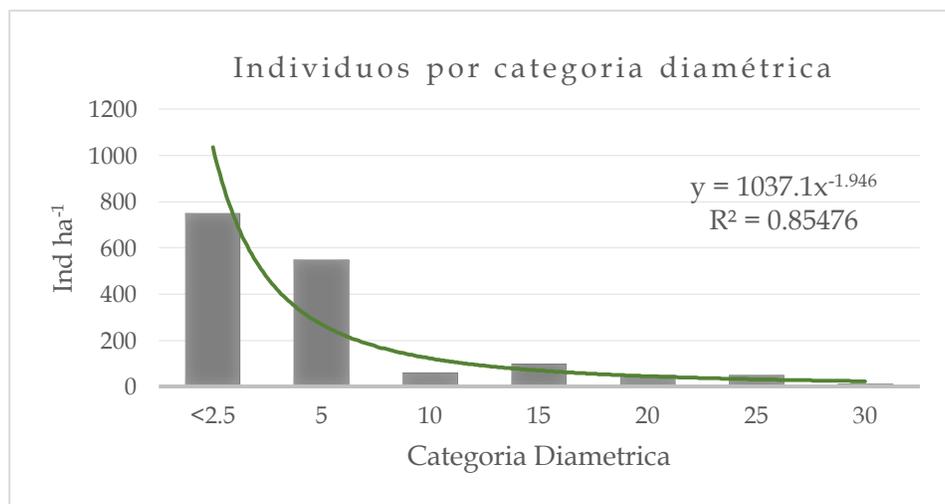


Figura 7. Regeneración en Población Casa Grande

2.3.4. Fenología

Los tilos son árboles caducifolios que durante el invierno permanecen sin hojas, época donde las precipitaciones son menores a 40 mm, al inicio del mes de marzo inicia el brote de hojas nuevas el cual dura alrededor de 26 días en las tres poblaciones a partir de ahí permanecen con hojas 215 días en la población Dos Sábados y 193 días las poblaciones El Polvorín y Casa Grande, la caída de hojas inicia a finales del mes de octubre e inicio de noviembre (Figuras 9, 10 y 11).

Se observa la relación que hay entre la caída de hojas con la disminución de las precipitaciones también se observa menor duración de las hojas maduras con respecto a la cantidad de lluvia mensual en las poblaciones El Polvorín y Casa Grande.

La floración (Figura 8) tiene duración de 50 días para la población Dos Sábados y 55 días en las poblaciones El Polvorín y Casa Grande, durante la primavera e inicios de verano, y a partir del mes de julio inicia la formación del fruto, de 93 a 107 días el fruto se encuentra en la fenofase de fruto verde y a partir del mes de octubre el fruto se torna marrón durante 22 a 24 días y a finales del otoño se inicia con la caída de este, coincidiendo con la fecha de la disminución de lluvias (Figuras 9, 10 y 11).



Figura 8. Floración : 8a) inicio de la floración; 8b) fin de la floración

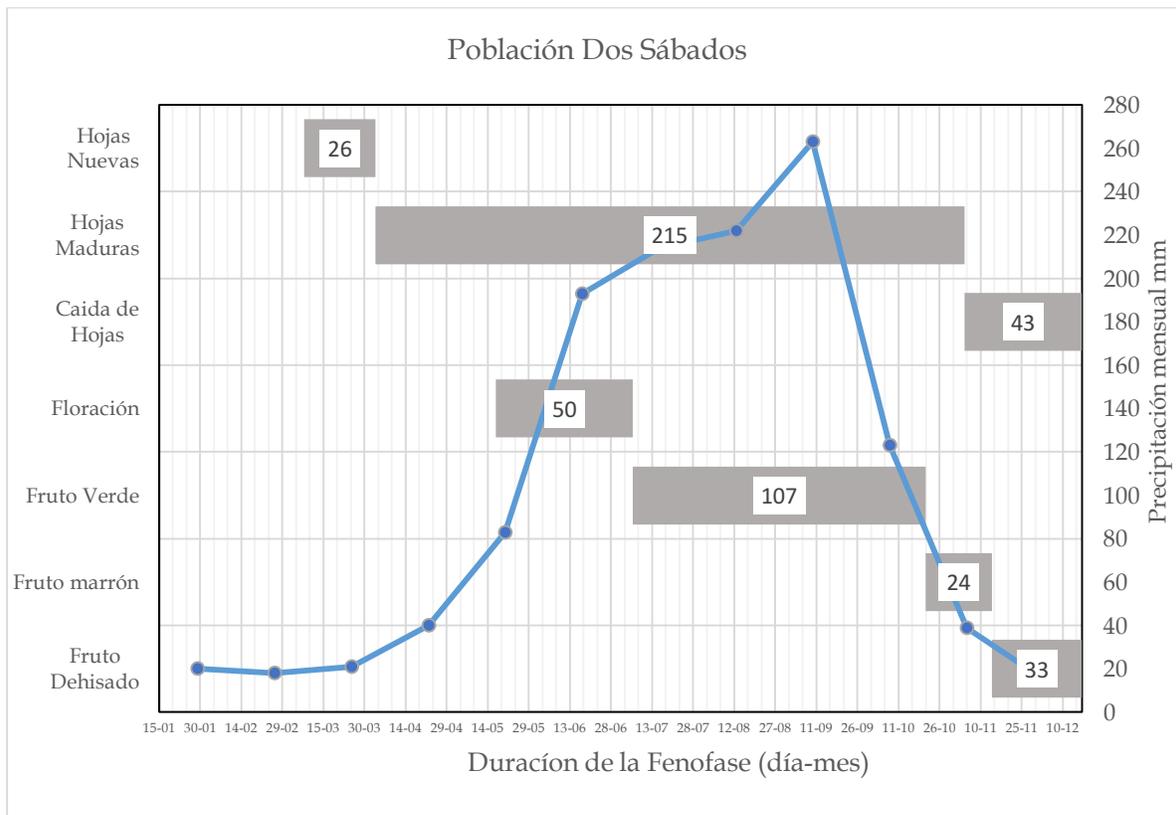


Figura 9. Fenología de *T. americana* L., en población Dos Sábados

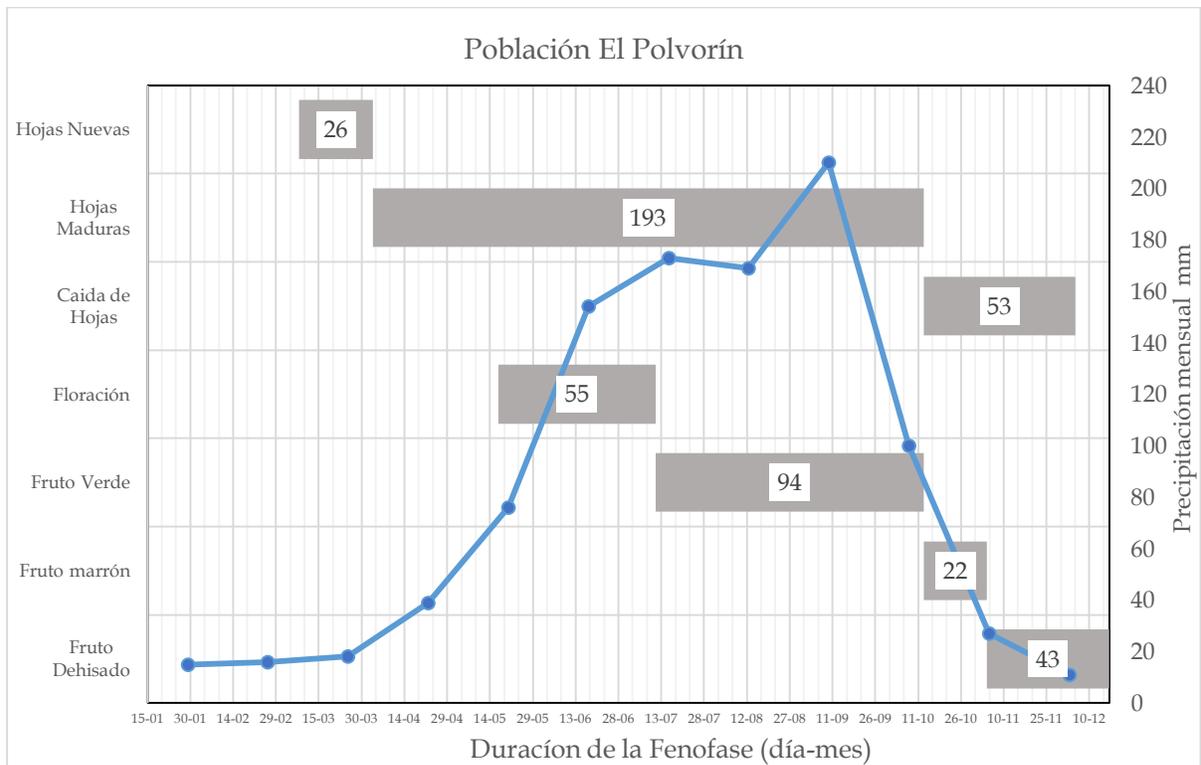


Figura 10. Fenología de *T. americana* L., en población El Polvorín

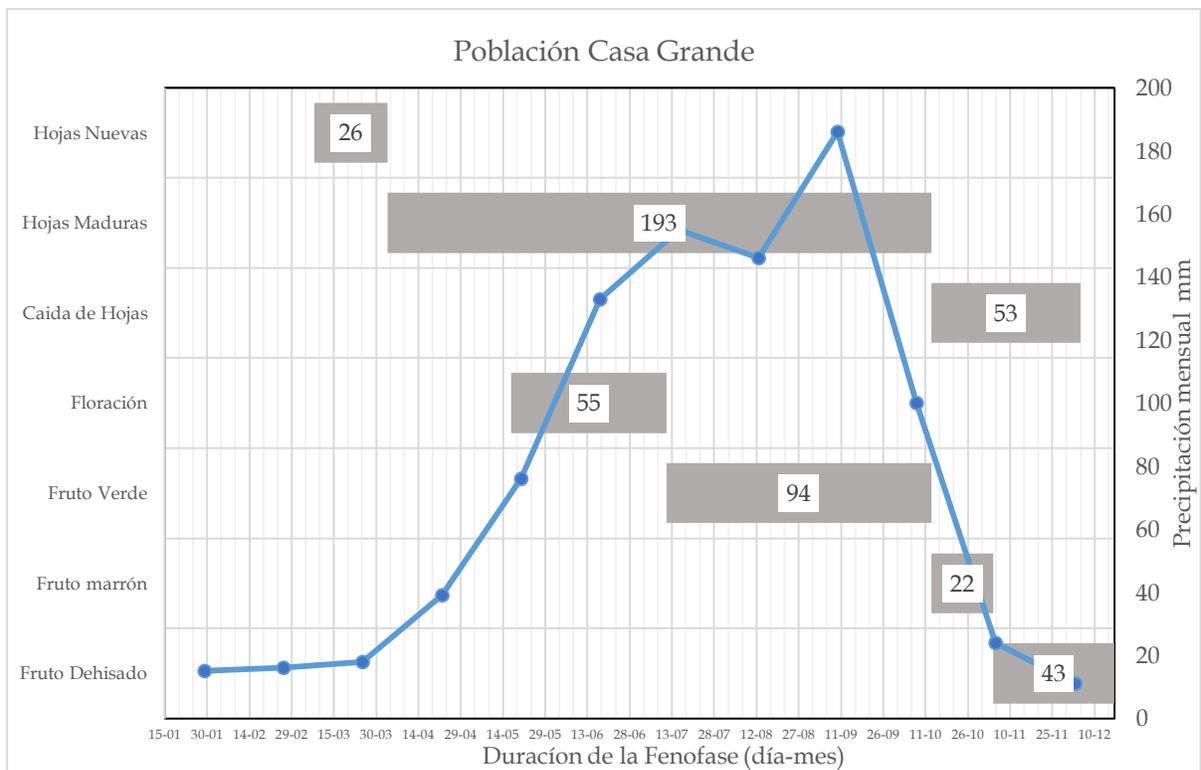


Figura 11. Fenología de *T. americana* L., en población Casa Grande

2.4. Discusión

2.4.1. Estado de conservación de *T.americana* L. En el municipio de Mineral del Chico

La presencia de *T. americana* L. en la zona no se había registrado anteriormente, sino hasta el 2019 por Paredes et al (2019) donde identificaron individuos en zonas aledañas al área de estudio. Las áreas que ocupa *Tilia* en la zona se encuentran en la vertiente del Río del Milagro, formando pequeños fragmentos aislados, lo que sugiere que anteriormente esta zona estaba cubierta por BMM. La especie se ha refugiado en estas áreas como algunas otras especies de origen boreal que se encuentran en zonas protegidas como lo son cañadas cercanas a fuentes de humedad y áreas de topografía accidentada (Rzedowski, 1996; Castillo-Batista et al., 2016).

Las densidades y dominancia están dentro de valores encontrados en bosque de Estados Unidos (Abbrams et al., 1998) para el caso de México las poblaciones ubicadas en Mineral del Chico muestran una densidad y dominancia mayor con respecto a poblaciones del centro de Veracruz y BMM (Tabla 5).

Tabla 5. Dominancia y densidad de arbolado adulto y regeneración natural en diferentes regiones de América del norte

Zona	Arb Ind ha ⁻¹	Reg Ind ha ⁻¹	AB m ² ha ⁻¹	Tomado de
Virginia, EUA	144	300	7.94	Abbrams et al., 1998
New York State, EUA	/	/	11.1	Page y Mitchell, 2008
Veracruz, Mex	13-47	/	/	Pavón-Hernández y Rico-Gray, 2004
Dos Sábados	333	1867	4.39	Este estudio
El Polvorín	508	2831	16.09	Este estudio
Casa Grande	288	1350	7.28	Este estudio

Ind ha⁻¹= Individuos por hectárea ; Arb= Arbolado adulto, Reg= Regeneración, AB= Área basal

Entre los pocos estudios sobre distribución de *T. americana* L. en México muestran que ocupa un papel como árbol secundario, esto se debe a que ha sido sobreexplotada para usos tradicionales y que el BMM ecosistema donde se encuentra principalmente ha sufrido una reducción drástica (Alcántara y Luna, 2001; Pavón-Hernández y Rico-Gray, 2004).

En cuanto a la regeneración la distribución en forma de “J” invertida muestran que la regeneración natural es exitosa en *Tilia* (Palacios-Wassenaar et al., 2016) en gran medida la regeneración se debe a que *T. americana* L. Tiene como principal mecanismo de regeneración brotes vegetativos siendo de esta forma la vía por la que perdure la especie a lo largo del tiempo en condiciones de distribución aislada (Evans y Morris, 2016).

2.4.2. Fenología

La fenología de *Tilia* en México y en particular las poblaciones estudiadas es diferente a la de zonas más boreales. El brote de las hojas es más lenta en climas más fríos, esta ocurre en el mes de mayo mientras la caída ocurre en el mes de octubre, durante unos 161 días, siendo el fotoperiodo y las precipitaciones parte importante para la duración de las hojas (Yu et al., 2016) en México debido a tener fotoperiodos más amplios explica el por qué las hojas permanecen en los árboles durante más tiempo.

Se ha observado en regiones más meridionales floración durante junio, en cambio en las zonas estudiadas ocurre durante la primavera además de tener más días de duración 50-55 días en México y 15 días en Lublin, Polonia (Dąbrowska et al., 2016).

Las semillas de *T. americana* L. requieren de sustrato húmedo y sombra para su correcta germinación, y en las áreas estudiadas la semilla cae al suelo durante el mes de diciembre en donde las precipitaciones son menores y la humedad del suelo es baja dificultando la reproducción sexual. Así mismo, el grosor del pericarpio

dificulta la germinación de las semillas (Duveneck et al.,2014; Panchev, 2019), lo cual indicaría que su reproducción en esta zona es mayormente por brotes vegetativos.

2.5. Conclusiones

T. americana L., es una especie de importancia para la conservación y como recurso forestal de valor medicinal. El estudio muestra que a pesar de estar en peligro de extinción dentro de México en el municipio de Mineral del Chico ha encontrado las condiciones para su desarrollo natural mostrando buena regeneración natural principalmente a partir de brotes vegetativos y demostrando que esta incrementa a medida que el número de individuos adultos aumenta.

Por su parte el análisis de la fenología nos ayuda a comprender en qué fechas realizar colecta de flores y semillas, con el fin de implementar proyectos para el aprovechamiento sustentable de flores y realizar las colectas de fruto para su reproducción por métodos tradicionales de vivero o por métodos in-vitro.

2.6. Literatura citada

- Abrams, M. D., Ruffner, C. M., y DeMeo, T. E. (1998). Dendroecology and species co-existence in an old-growth *Quercus-Acer-Tilia* talus slope forest in the central Appalachians, USA. *Forest Ecology and Management*, 106(1), 9-18. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00234-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00234-X)
- Aguirre-Hernández, E., González-Trujano, M. E., Terrazas, T., Santoyo, J. H., y Guevara-Fefer, P. (2016). Anxiolytic and sedative-like effects of flavonoids from *Tilia americana* var. mexicana: GABAergic and serotonergic participation. *Salud Mental*, 39(1), 37-46. <https://doi.org/10.17711/SM.0185-3325.2015.066>.

- Alcántara Ayala, O. y Luna Vega, I. (2001). Análisis florístico de dos áreas con bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa. *Acta Botánica Mexicana*, 54, 51-87.
- Bahamonde, H. A., Pastur, G. M., Lencinas, M. V., Soler, R., Rosas, Y. M., Ladd, B., Guardia, S. D., y Peri, P. L. (2018). The relative importance of soil properties and regional climate as drivers of productivity in southern Patagonia's *Nothofagus antarctica* forests. *Annals of Forest Science*, 75(2). <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0725-7>
- Castillo-Batista, A. P. del., Figueroa-Rangel, B. L., Lozano-García, S., Olvera-Vargas, M., y Guzmán, R. C. (2016). Historia florística y ambiental del bosque mesófilo de montaña en el centro-occidente de México durante la pequeña edad de hielo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1), 216-229. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.021>
- Dąbrowska, A., Piotrowska-Weryszko, K., Weryszko-Chmielewska, E., y Sawicki, R. (2016). Flowering phenology of selected linden (*Tilia* L.) taxa in relation to pollen seasons. *Journal of Apicultural Science*, 60(2), 193-207. <https://doi.org/10.1515/JAS-2016-0030>
- Duveneck, M. J., Scheller, R. M., White, M. A., Handler, S. D., y Ravenscroft, C. (2014). Climate change effects on northern Great Lake (USA) forests: A case for preserving diversity. *Ecosphere*, 5(2), 1-26. <https://doi.org/10.1890/ES13-00370.1>
- Evans, J. P., y Morris, A. B. (2016). Isolated coastal populations of *Tilia americana* var. *caroliniana* persist long-term through vegetative growth. *American Journal of Botany* 103(9), 1687-1693. <https://doi.org/10.3732/ajb.1600233>.
- Hardin, J. W. (1990). Variation Patterns and Recognition of Varieties of *Tilia americana* s.l. *Systematic Botany*, 15(1), 33. <https://doi.org/10.2307/2419014>.
- McCarthy, D. M., y Mason-Gamer, R. J. (2020). Morphological variation in North American *Tilia* and its value in species delineation. *International Journal of Plant Sciences*, 181(2), 175-195. <https://doi.org/10.1086/706781>.

- Mostacedo, B. y Fredericksen, T.S.(2000).Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de manejo forestal sostenible (BOLFOR). Bolivia.
- Page, B. D., y Mitchell, M. J. (2008). The influence of basswood (*Tilia americana*) and soil chemistry on soil nitrate concentrations in a northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(4), 667–676. <https://doi.org/10.1139/X07-187>.
- Palacios-Wassenaar, O., Castillo-Campos, G., y Vázquez-Torres, S. M. (2016). Análisis de la estructura poblacional como indicador rápido del estado de conservación de especies arbóreas amenazadas. El caso de *Resinanthus aromaticus* en el centro de Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 94(2), 241–252. <https://doi.org/10.17129/botsci.271>.
- Panchev, V. (2019). Seed propagation of *Tilia* sp. agrobiological and technological aspects. *Agricultural Sciences*, 11(26). <https://doi.org/10.22620/agrisci.2019.25.004>
- Paredes, A., Razo, R., Rodríguez, R., y Suárez, A. (2019). Diversidad de especies arbóreas y arbustivas del ejido El Puente, Mineral del Chico, Hidalgo. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 13.
- Pavón-Hernández, NP. y Rico-Gray, V. (2004). Distribución espacial de *Tilia mexicana* Schlecht. (Tiliaceae) en el paisaje del centro del Estado de Veracruz, México. *Universidad y Ciencia*, 20(39), 29-32.
- Pigott, D. (2012) . Lime-trees and basswoods: A biological monograph of the genus *Tilia* . Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* , 35, 25-44.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en

riesgo. Diario Oficial de la Federación. 2da Sección, 30 de Diciembre de 2010.

SMN [Servicio Meteorológico Nacional].(20 de abril de 2021). Estadística climatológica.

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL13112.TXT>.

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87 (3), 559-902.

Yu, R., Schwartz, M. D., Donnelly, A., y Liang, L. (2016). An observation-based progression modeling approach to spring and autumn deciduous tree phenology. *International Journal of Biometeorology*, 60(3), 335-349.

<https://doi.org/10.1007/s00484-015-1031-9>

CAPÍTULO 3. Factores biológicos, climáticos y edáficos que inciden en la distribución de *Tilia americana* L. en Mineral del Chico

Resumen.

En las poblaciones de *Tilia americana* L. en Mineral del Chico se encuentran elementos florísticos propios del bosque mesófilo de montaña, tales como *Meliosma* sp. y *Phoebe* sp. además de una diversidad de encinos y especies de ecosistemas templados, formando relictos en áreas donde dominan los árboles de *T. americana* L. de acuerdo a los datos de índice de valor de importancia calculados para los parajes considerados en este estudio (Dos Sábados= 100.13, El Polvorín= 130.3 y Casa Grande 109.30). Por su parte los suelos son de textura franco arenosa a francos con una buena retención de humedad a lo largo del año mientras que características químicas de los suelos indican que son ligeramente ácidos, con concentraciones >3.0 % de materia orgánica a lo largo del año. Mientras que las condiciones del terreno son zonas abruptas de pendientes >80%, orientados en dirección noroeste. Las condiciones de temperatura oscilan entre los 14.9 °C a los 15.3 °C mientras que las precipitaciones registrada en la zona están entre los 900 mm y 1250 mm anuales. Con los resultados obtenidos y el análisis de correspondencia canónica, se puede concluir que las variables edafo-climáticas que determinan la presencia de *T. americana* L. en la zona son las precipitaciones anuales, el contenido de humedad gravimétrica, la altitud, pendiente y pH del suelo.

Palabras clave= Bosque mesófilo de montaña, relictos, condiciones edafo-climáticas

3.1. Introducción

Los tilos son árboles que se encuentran en el hemisferio norte en todo el Mundo principalmente en países de clima templado a frío (Pigott, 2012) en Norte América por mucho tiempo se han descrito varias especies (Hardin, 1990; Pigott, 2012) que

se distribuyen desde Canadá en su parte su-este continuando por las regiones del este de Estados Unidos de América (EUA) las poblaciones de los estados del sureste de EU tienden a disminuir en tamaño y así continuamente decrecen, hasta encontrar poblaciones muy reducidas en zonas de bosque mesófilo de montaña (BMM) y bosque de encino en México (Rzedowski, 1978;).

En México la especie la encontramos regularmente como especie arbórea secundaria en BMM así como ocasionalmente se puede localizar en bosques de encino. En su estatus de conservación se encuentra en peligro de extinción dentro del territorio Mexicano de acuerdo a la NOM-059-SEMARNATA-2010 (SEMARNAT, 2010).

La composición vegetal dentro de los bosques es reflejo de lo que ocurre en el suelo y los factores climáticos. En el territorio nacional los diferentes ecosistemas son clasificados principalmente por las características de flora más las condiciones físicas del terreno.

Por lo que las condiciones físicas del terreno son parte fundamental para el desarrollo de los árboles, en el caso de *T. americana* L. debido a su presencia restringida dentro el territorio mexicano es necesario recabar información puntual de estos bosque aislados en la zonas montañosas, así conocer los parámetros edafológicos , topográficos y ambientales que nos darán información para generar modelos para su reintroducción en zonas potenciales.

En el presente capítulo se aporta información de la estructura y florística de la vegetación (árboles y arbustos) también tomando en cuenta parámetros de suelo, climáticos y fisiográficos de las áreas de estudio. Y por último generar a través de un análisis multivariado un esquema de los factores edáficos, climáticos y topográficos que son de mayor relevancia para la conformación de la estructura de los bosques relictos de tilos.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el municipio de Mineral del Chico, en la vertiente del Río del Milagro entre las coordenadas $20^{\circ}13'03''$ N, $98^{\circ}44'07''$ O y $20^{\circ}13'55''$ N, $98^{\circ}44'27''$ O a una altitud promedio de 2200 metros sobre el nivel del mar, el clima que predomina es clima templado con temperatura media anual de 14.1°C , precipitación anual de 1148 mm (Servicio meteorológico Nacional, 2010). El afluente pertenece a la subcuenca del río Amajac, Cuenca del río Moctezuma y a la región Hidrológica No. 26 Río Pánuco.

3.2.2. Diseño de muestreo

En el capítulo dos se describe el trabajo topográfico de delimitación de las poblaciones estudiadas. Posteriormente, en cada una de ellas se realizó el levantamiento de datos ecológicos mediante un diseño de muestreo estratificado con parcelas ubicadas de manera sistemática (Figura 12). El número de parcelas en cada población fue diferente debido a la variabilidad en el tamaño de las poblaciones: Dos Sábados 3 parcelas; El Polvorín 13 y Casa Grande 8 parcelas.

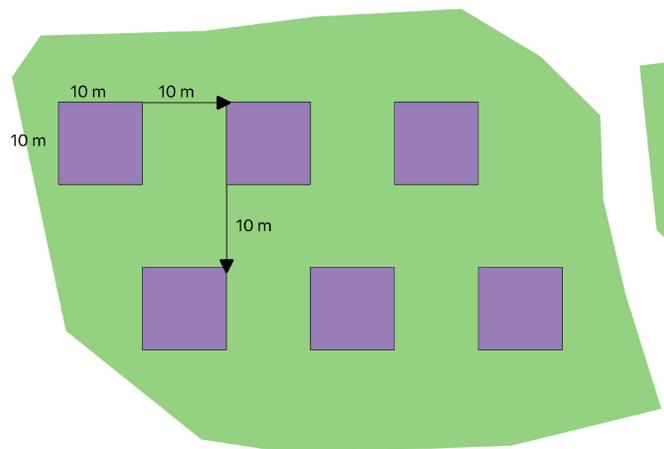


Figura 12. Diseño de muestreo

En cada población se utilizaron parcelas de muestreo de 10 x10 m para toma de datos en arbolado adulto y un cuadrante de 5x5 m ubicado aleatoriamente en alguno de los 4 cuadrantes de la parcela principal para el análisis de la vegetación arbustiva. Al centro de cada la parcela se excavó una micro-parcela de 50 x 50 cm para el análisis de los horizontes del suelo y la extracción de muestras edáficas (Rodríguez-Ochoa et al., 2014; Rodríguez-Ramírez et al., 2018).

3.2.3. Factores biológicos

3.2.3.1. Descripción florística

Previo a el levantamiento de la información ecológica de las poblaciones se realizó el inventario florístico de los árboles y arbustos en cada una de ellas, mediante el método de barrido que consistió en recorrer las áreas estudiar de manera minuciosa identificando en campo algunos de los especímenes arbóreos y arbustivos mediante el uso de claves taxonómicas (Paredes et al., 2019). Así mismo, se colectaron muestras botánicas de las especies que no se reconocieron para su posterior identificación en el Laboratorio de Botánica Forestal del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la UAEH, con el uso de claves taxonómicas y visitas a él herbario virtual de la Conabio. Con esto se elaboró un listado de las especies identificadas así como su clasificación en las familias y géneros presentes.

3.2.3.2. Índice de Valor de Importancia

Este índice es una medida que se usa para poder comprender y definir cuáles son las especies forestales que dominan en el sitio y que contribuyen a el carácter y estructura de un ecosistema (Campo y Duval, 2014) pondera tres mediciones relativas que dan como resultado un valor por especie, evitando así tomar como referencia una sola de estas variables que se utilizan de manera separada para representar ya se la frecuencia o la densidad. Par esto el IVI se obtiene por la suma de los valores de Dominancia relativa + Densidad relativa + Frecuencia relativa, en la

Tabla 6 se muestra las fórmulas utilizadas para obtener cada valor (Mostacedo y Fredericksen, 2000; Rodríguez-Ramírez et al., 2018).

Para el cálculo del área basal en árboles, se tomó el DAP a 1.30 metros con cinta diamétrica y se utilizó la fórmula siguiente:

$$AB = \frac{\pi}{4} DAP^2$$

Dónde:

AB= Área basal expresada en m²ha⁻¹

DAP= Diámetro a la altura del pecho

Para el caso de los arbustos se utilizó la fórmula que se equipara con el área basal, refiriéndose a la superficie que ocupa cada especie en metros cuadrados en espacio determinado por el eje mayor y el eje menor de la proyección de la copa (Rodríguez-Ramírez et al., 2018):

$$C = \pi \left[\frac{1}{4} (d1 + d2) \right]^2$$

Dónde:

C=Cobertura de arbusto en m²

d1= Diámetro de la proyección mayor del eje de la copa

d2= Diámetro de la proyección menor del eje de la copa

Tabla 6. Fórmulas para obtener el Índice de Valor de Importancia en Poblaciones de *Tilia americana* L. en Mineral del Chico

Factor	Fórmula
Dominancia Relativa=	$\frac{\text{Dominancia absoluta por especie}}{\text{Dominancia absoluta de todas las especies}} * 100$
Dominancia Absoluta=	$\frac{\text{área basal de una especie}}{\text{área muestreada}}$
Frecuencia Relativa=	$\frac{\text{Frecuencia absoluta por cada especie}}{\text{Frecuencia absoluta de todas las especies}} * 100$
Frecuencia Absoluta=	$\frac{\text{No. de cuadros en los que se presenta la especie}}{\text{No. total de cuadros muestreados}}$

3.2.4. Análisis de factores fisiográficos

3.2.4.1. Altitud

La altitud sobre el nivel del mar se tomó al centro de cada parcela y se promediaron los valores obtenidos, se utilizó el GPS marca Garmin 78s acoplado a una antena GLONASS para mejorar la precisión en la toma de datos.

3.2.4.2. Pendiente y exposición

Del mismo modo que la altitud, los datos se tomaron al centro de cada parcela. Para la pendiente se utilizó un hipsómetro laser marca Nikon forestry® (Figura 13a) y una baliza ajustada a la altura de la visión del hipsómetro a nivel con el fin de calibrar el ocular con la baliza, el procedimiento consistió en alejar la baliza 10 m hacia abajo o arriba en dirección de la pendiente y con el hipsómetro obtener la inclinación en grados, los valores obtenidos se promediaron.

La exposición del terreno se tomó en grados azimut con una brújula tipo brunton (Figura 13b) direccionando el apuntador de manera paralela a la pendiente de la ladera.



Figura 13. **13a)** Estimación de la pendiente; **13b)** Estimación de la exposición del terreno

3.2.5. Factores edáficos

3.2.5.1. Horizontes del suelo

Al centro de cada parcela se estableció un perfil de suelo de 50 cm de ancho x 50 cm de profundidad aproximadamente (Figura 15) tomando la profundidad de los siguientes horizontes:

- Hojarasca
- Horizonte orgánico (O)
- Horizonte mineral (A)



Figura 14. Perfil de suelo para las tres primeras capas

3.2.5.2. Colecta y procesamiento de muestras edáficas

En el centro de cada parcela se tomaron muestras de suelo de los primeros 30 cm con una barrena para muestreo de suelos. Se retiró la hojarasca de la superficie y se introdujo la barrena girando lentamente hasta alcanzar los 30 cm, las muestras se colocaron en bolsas de plástico (Figuras 15a y 15b) y fueron selladas para evitar la pérdida de humedad en el traslado a el Laboratorio de Semillas y Germoplasma Forestal del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la UAEH.

En el laboratorio antes de poner a secar las muestras se tomó el peso húmedo y después se colocó el suelo extendido encima de papel periódico (Figura 15c), el secado duró aproximadamente 2 semanas. Previo al tamizado se seleccionaron terrones para la determinación de densidad aparente.



Figura 15. **15a)** Extracción de muestra de suelo; **15b)** Traslado de muestras; **15c)** Secado de las muestras

En el proceso de tamizado se utilizaron dos diferentes números de malla: tamiz con apertura de 2 mm y 0.5 mm. Con la malla de 2mm se tamizaron 50 g y con la malla de 0.5 mm 20 g de suelo.

La cantidad de sitios muestreados para la población Dos Sábados fue de tres, El Polvorín 13 y Casa Grande 8. Es importante señalar que se realizaron 3 repeticiones en el muestreo en 3 distintas fechas: la primera, al final de la época de lluvias en el mes de noviembre de 2020; la segunda, en el final del invierno en el mes de febrero de 2021; y la tercera, en la temporada de lluvias en el mes de julio de 2021. Con el objetivo de analizar la variabilidad en pH, % de humedad, %MO, y nitrógeno total.

3.2.5.3. Análisis físicos y químicos del suelo

3.2.5.3.1. Humedad

Los contenidos de humedad se determinaron por el método gravimétrico (Béjar et al., 2020). El proceso del método comienza con el pesaje de los botes de aluminio

con una báscula analítica marca ADAM®, se pesan 10 g de suelo húmedo aproximadamente dentro de los crisoles (Figura 16a). Todas las muestras se etiquetan y se colocaron en una estufa de secado a 105° C durante 24 horas(Figura 16b), pasado el tiempo se dejaron enfriar y se pesan de nuevo (NMX-FF-109-SCFI-2008).



Figura 16. 17a) Pesaje de la muestra; 17b) Secado de muestras

Para la obtención de los valores de humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\theta g = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} * 100$$

Dónde:

θg = Contenido de humedad gravimétrica expresado en %.

Psh= Peso de suelo húmedo.

Pss= Peso de suelo seco.

PB= Peso del bote de aluminio.

Se realizaron 3 muestreos en diferentes estaciones del año con la finalidad de analizar los cambios de la humedad (1, noviembre 2020; 2, febrero; 2021; y 3, julio 2021). Tomando en cuenta que se muestrearon 3 parcelas en Dos Sábados, 13 en El Polvorín y 8 en Casa Grande.

3.2.5.3.2. Textura

El estudio de granulometría del suelo se realizó a través del método del hidrómetro de Bouyoucos (Saavedra-Romero et al., 2020) fundamentándose en que las tres partículas (arena=Ar, arcilla= R y limo=L) del suelo poseen densidades diferentes. El procedimiento comienza con el tamizado de todas las muestras en una malla de 2mm, después se pesan 50 g de suelo de cada muestra. El suelo que se pesó se lleva a un vaso donde se agregan 10 ml de solución desfloculante de Hexametáfosfato de sodio(Na_6PO_3) y carbonato de sodio(Na_2CO_3) se llena el vaso con agua destilada a la mitad, y por último se produce la dispersión durante 5 minutos (Figura 17b) con un equipo para licuar oster® .



Figura 17. 17a) Tamizado de suelo con malla de apertura de 2 mm; 17b) Separación de partículas del suelo; 17c) Lectura del hidrómetro

Se lleva la suspensión de suelo a una probeta para la sedimentación, con capacidad de 1200 ml, aforada a 1130 ml, se llena con agua destilada hasta la marca indicada. Antes de aforar se coloca el hidrómetro y se completa el llenado, se saca el hidrómetro, en seguida se agita fuertemente la suspensión de suelo durante un minuto, pasados 20 segundos se introduce el hidrómetro lentamente y a los 40 segundos se toma la lectura del hidrómetro y la temperatura (Figura 17 c).

Transcurridas dos horas se vuelve a introducir el hidrómetro para tomar una segunda lectura de igual forma se toma la temperatura de la suspensión, con el fin de ajustar la densidad del agua que cambia en función de la temperatura. Para la determinación de porcentaje de Ar, R, y L se realizan los cálculos siguientes:

Se corrige la lectura del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado centígrado $>20^{\circ}$ y restando 0.36 por cada grado centígrado $<20^{\circ}$, una vez corregidas las lecturas del hidrómetro se multiplica la primera lectura por dos, esto corresponde al porcentaje de arcilla+limo luego el valor obtenidos se le resta a 100 que corresponde al porcentaje de arena. La segunda lectura se multiplica por 2, valor del porcentaje de arcillas, el porcentaje de limo se estima por la diferencia.

3.2.5.3.3. Densidad aparente

El método utilizado para determinar la densidad aparente (Dap) fue el de terrón (Hernández Ordoñez et al., 2017). Se seleccionaron terrones de cada muestra, se utilizó hilo para amarrar los terrones, parafina, y una probeta de 100 ml y balanza (Villaseñor, 2016).

Se calienta la parafina en una estufa eléctrica, se pesan los terrones antes de ser parafinados y se amarran con un hilo, después se introduce el terrón a la parafina aproximadamente unos 3 segundos hasta que este sea cubierto totalmente, luego se extrae el terrón se deja enfriar y se pesa. Por último se introduce el terrón en una probeta de 100 ml con un volumen de agua conocido y se obtiene el volumen desplazado por el terrón (Figura 18).

La D_{ap} se calculó con la fórmula siguiente:

$$D_{ap} = \frac{P_{ss}}{V_d - \left[\frac{(P_{ssp} - P_{ss})}{0.9} \right]}$$

Dónde:

D_{ap} = densidad aparente g cm^{-3}

P_{ss} = peso de terrón seco

P_{ssp} = peso de terrón parafinado

V_d = volumen desplazado cm^3

0.9 = densidad de la parafina

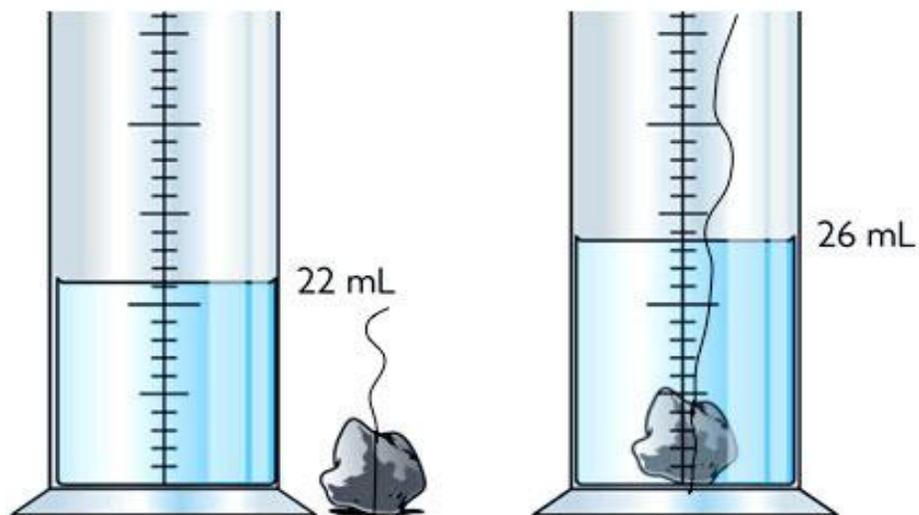


Figura 18. Obtención del volumen de terrón

3.2.5.3.4. Porosidad

Se estimó el porcentaje de espacio poroso indirectamente a través de la densidad aparente, utilizando la fórmula:

$$\%P = \left(1 - \frac{Dap}{Dr}\right) * 100$$

Dónde:

$\%P$ = espacio poroso representado en porcentaje

Dap = densidad aparente

Dr = densidad real 2.65 g cm^{-3}

3.2.5.3.5. pH

El pH se analizó por el método del potenciómetro, en una solución de agua destilada y suelo, relación 2:1, se utilizaron 10 g de suelo y 20 g agua destilada (Saaverdra-Romero et al., 2020) para esto se colocó el suelo y el agua en vasos de precipitado de 100 ml, las muestras se agitaron suavemente durante 30 minutos, pasado el tiempo se introdujo el electrodo del potenciómetro marca Biobase 901P® moviendo en círculos el electrodo hasta que la lectura de la pantalla se estabilizara (Figura 19).

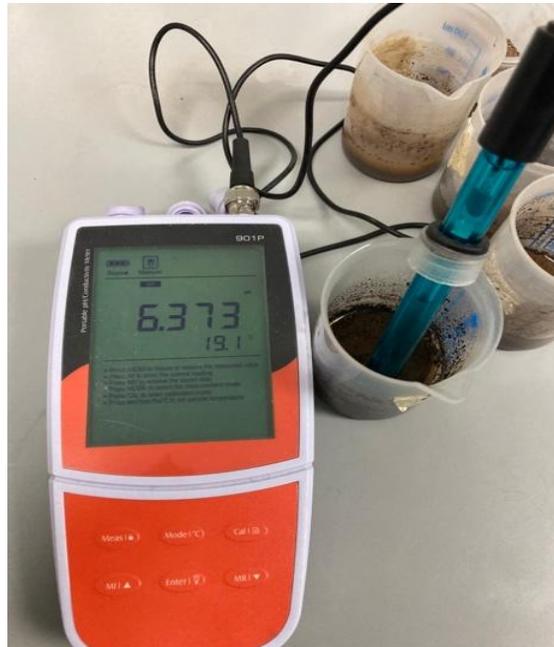


Figura 19. Lectura de pH

Una vez estabilizada la lectura en la pantalla del equipó se registró el valor de pH obtenido. Se realizó la medición de pH en todas las muestras de cada población, realizando repeticiones al azar en diferentes muestras de cada población para comprobar los valores obtenidos. Este mismo procedimiento se realizó para las tres épocas de muestreo (1, noviembre 2020; 2, febrero; 2021; y 3, julio 2021). Tomando en cuenta que se muestrearon 3 parcelas en Dos Sábados, 13 en El Polvorín y 8 en Casa Grande.

3.2.5.3.6. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se analizó con un equipo de prueba de agua (TDS y EC), se utilizó una solución 2:1 de agua destilada y suelo. Se colocaron 10 g de suelo en un vaso de precipitado de 100 ml con una proporción de 20 ml de agua destilada se agitó la suspensión durante 30 minutos pasado el tiempo se introdujo el probador de conductividad eléctrica y se obtuvieron los valores en $\mu\text{s cm}^{-1}$ estos se convirtieron a ds m^{-1} .

3.2.5.3.7. Materia orgánica (%MO) y carbono orgánico del suelo (%COS)

Se determinó el contenido de materia orgánica por medio del método de Walkey y Black (Cantú y Yáñez, 2018).

Se tamizó el suelo en una malla de 0.5 mm de apertura y se utilizaron 0.15 g de suelo se pesaron báscula analítica, el suelo se colocó en un matraz erlenmeyer de 500 ml agregándole 10 ml de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) como agente oxidante de la MO con una pipeta a la muestra de suelo agitando suavemente por un minuto, después se agregó ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) necesario para producir la energía para realizar la reacción, agitando el matraz suavemente por un minuto y se dejó reposar por 30 minutos en la campana extractora de gases.

Pasado el tiempo se agregaron 200 ml de agua destilada más 10 ml de ácido bórico para evitar interferencia de Fe^{3+} y 20 gotas de indicador de difenilamina. Se realiza una muestra blanco sin suelo. Se llena una bureta de 100 ml graduación de 0.02 ml con sulfato ferroso y se procede a cuantificar el gasto de sulfato ferroso en la muestras de suelo y el blanco, gota a gota se mantiene en agitación la disolución hasta que cambie de color marrón-anaranjado a verde esmeralda (Figura 20).



Figura 20. Titulación de las muestras de Materia orgánica

Una vez que se observa el cambio de color deseado se detiene el flujo de sulfato ferroso y se cuantifica el gasto para usarlos en la fórmula que expresa el contenido de %MO:

$$\%MO = 10 * \left(1 - \frac{M}{B}\right) * F.C$$

Dónde:

%MO= materia orgánica expresada en %

M= gasto de muestra

B= gasto de blanco

F.C= factor de corrección

El contenido de % carbono orgánico se determinó de forma indirecta por medio del factor de Van Benmelen (Colin-Navarro et al., 2019):

$$\%COS = \%MO/1.724$$

Dónde:

%COS= carbono orgánico expresado en %

%MO= porcentaje de materia orgánica

1.725= factor de Bemmelen

3.2.5.3.8. Nitrógeno total (%Nt)

El procedimiento que se utilizó para determinar el contenido de nitrógeno total fue el método semi-micro kjeldahl (Cantú y Yáñez, 2018).

Se pesaron las muestras de suelo tamizadas con malla de 0.5 mm (1g de suelo para valores de 2% de MO, 0.5 g 4% MO y 0.25 g %8 de MO) y un blanco utilizando tubos follin wu y se agregó a cada muestra 1.1 g de mezcla catalizadora (K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ y selenio metálico) agregándole 4 ml de ácido sulfúrico concentrado. Las muestras se sometieron a digestión a una temperatura de 260° C hasta que estas tornaron a color claro, el alto contenido de MO en las muestras fue factor para que la digestión tardará más de 9 horas.

Una vez terminado el proceso de digestión en donde todas las estructuras orgánicas se convirtieron en amonio se procedió a llevar los tubos follin wu al destilador agregándoles 15 ml de agua destilada.

Los tubos se colocaron en la parte inicial del destilador y en el extremo de salida un matraz erlenmeyer de 125 ml con 10 ml de ácido bórico (H_3BO_3) más indicadores para coleccionar las sustancias destiladas. Se inicia el proceso de destilación conectando el flujo de vapor y agregando 10 ml de Hidróxido de sodio (NaOH) 10N.

Se coleccionaron 50 ml aproximadamente de destilado, el color de la solución en el matraz debe de ser verde y no rosa o violeta, de lo contrario indica que la muestra tiene contenidos muy bajos de Nitrógeno o se presentó algún error en el procedimiento por lo cual es importante realizar duplicados de muestras para corroborar.

Se realiza la titulación con ácido sulfúrico 0.5 N para ello utilizamos una bureta de 10 ml, se cuantifica el gasto de ácido cuando la muestra vire de color verde a rosa (Figura 21), el mismo procedimiento se realiza en el blanco. Por último se calcula el contenido de Nitrógeno total con la fórmula siguiente:

$$\%Nt = \frac{(M - B) * N \text{ ácido} * 14}{muestra * 10}$$

Dónde:

$\%Nt$ = nitrógeno total expresado en %

M = volumen gastado de la muestra

B =volumen gastado de blanco

$N \text{ ácido}$ = normalidad exacta de ácido sulfúrico

$muestra$ = peso de la muestra en gramos

10=factor para convertir en porcentaje (1000/100)

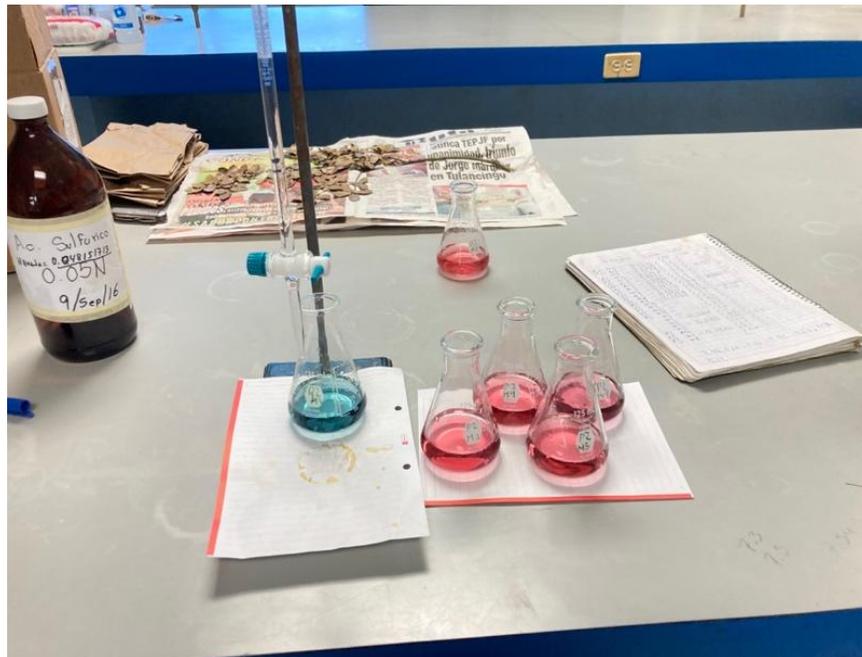


Figura 21. Titulación de muestras de suelo para Nitrógeno total

3.2.5.3.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico utilizado fue un análisis de varianza (ANOVA) con el programa estadístico Past 4.04[®], primero se hicieron los análisis entre fecha de muestreo (Noviembre 2020, Febrero 2021 y julio 2021) en cada población para comparar si existe variación estadística en los valores de %humedad, pH, %MO,%COS y %Nt.

Por último, se comparó estadísticamente la variación entre poblaciones de los parámetros físicos y químicos de suelo analizados con una prueba de ANOVA en el mismo programa estadístico utilizado anteriormente.

3.2.6. Análisis de condiciones climáticas

La información climática se estimó a partir del Atlas climático digital de México (Consultado en noviembre de 2021) diseñado por el Instituto de Ciencias Atmosféricas y Cambio Climático de la UNAM. La información que se obtuvo fue la precipitación mensual y las temperaturas promedio mensuales (Valores promedio de 1902-2015) de cada una de las poblaciones.

El proceso para obtener estas variables climáticas primero fue obtener las coordenadas geográficas en grados decimales de las poblaciones, posteriormente en la interfaz del mapa se seleccionó el tipo de información requerida, después posicionar el cursor en las coordenadas de interés para ir obteniendo las precipitaciones y temperaturas mes por mes (Figura 22).

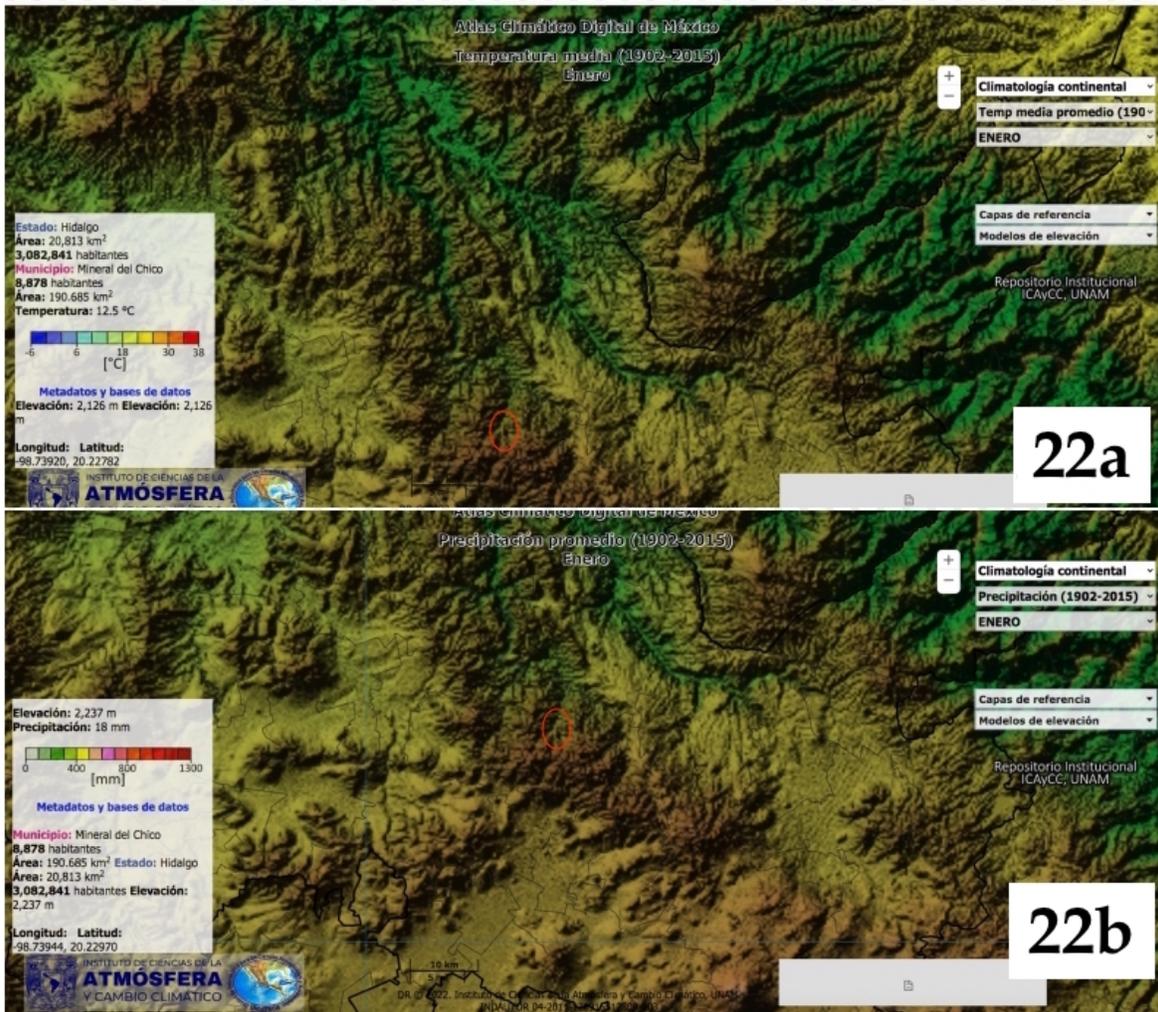


Figura 22. Climatología (1902-2015) obtenida en el Atlas climático digital de México (UNAM); **22a**) Temperaturas media mensuales; **22b**) Precipitaciones mensuales

3.2.7. Análisis estadístico multivariado

El análisis estadístico multivariado se realizó a través del método canónico de correspondencia en el que se utilizaron las variables biológicas de todas las especies arbóreas y arbustivas (índice de valor de importancia) y las variables físicas de los sitios (valores de las condiciones químicas y físicas del suelo, exposición, altitud, pendiente, precipitación y temperatura).

Para ello se elaboró una matriz donde se promediaron las variables físicas en cada población más los valores del índice de valor de importancia de cada una de las especies arbóreas y arbustivas identificadas en cada población. Se analizó la matriz de datos en el programa estadístico Past 4.04®.

Este tipo de análisis multivariado nos ayuda a analizar los patrones del ambiente físico y atmosférico y poder observar cuales son las variables que inciden para que las especies se establezcan, siendo una herramienta para obtener las variables medioambientales determinantes para reintroducción de especies en peligro de extinción (Vargas-Rodríguez y Platt, 2012; Rodríguez-Ochoa et al., 2014; Rodríguez-Ramírez et al., 2018).

3.3. Resultados

3.3.1. Factores biológicos

3.3.1.1. Levantamiento florístico

3.3.1.1.1. Dos Sábados

En esta población se observó que las principales especies que dominaban el estrato arbóreo fueron encinos y tilos, en la apreciación general de este reducido bosque de apenas unos metros cuadrados se encontraron 6 especies de árboles de las familias Fagaceae, Malvaceae y Ericaceae, también se observó regeneración de *Fraxinus uhdei* y *Prunus serotina* (Tabla 7).

Con respecto al estrato arbustivo se identificaron 3 especies, siendo la familia Asterales con dos especies y Caprifoliaceae, una especie por familia (Tabla 7).

Tabla 7. Árboles y arbustos en la población Dos Sábados

Especie	Forma de vida	Familia
<i>Ageratina glabrata</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Arbutus bicolor</i>	Árbol	Ericaceae
<i>Bacharis conferta</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	Arbusto	Caprifoliaceae
<i>Fraxinus uhdei</i>	Árbol*	Oleaceae
<i>Prunus serotina</i>	Árbol*	Rosaceae
<i>Quercus glabrescens</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Q. crassifolia</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Tilia americana</i>	Árbol	Malvaceae

*Plántulas

3.3.1.1.2. El Polvorín

De las tres poblaciones estudiadas esta es la de mayor superficie. En ella se identificaron 12 especies de árboles (Tabla 8) de los cuales la familia Fagaceae está representada con 4 especies del género *Quercus* y en el resto una especie por familia. Así mismo el género *Quercus* es el más común dentro de la comunidad.

Entre más grandes son los bosques de tilos se observa mayor número de especies arbóreas y arbustivas. Entre los arbustos (Tabla 8) la familia Asteraceae es la mejor representada, con 6 especies de las cuales el género *Roldana* y *Ageratina* están representadas por 3 y 2 especies respectivamente, en total son 11 especies de arbustos. Es importante recalcar que esta población tiene elementos florísticos propios de bosque mesófilo de montaña como las especies arbustivas *Meliosma sp.* y *Phoebe sp.* y *T. americana* L. en el estrato arbóreo.

Tabla 8. Árboles y arbustos en la población El Polvorín

Especie	Forma de vida	Familia
<i>Tilia americana</i>	Árbol	Malvaceae
<i>Buddleja cordata</i>	Árbol	Scrophulariaceae
<i>Quercus castanea</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Q.affinis</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Q.laeta</i>	Árbol	Fagaceae
<i>J.mollis</i>	Árbol	Juglandaceae
<i>C.mexicana</i>	Árbol	Rosaceae
<i>Arbutus bicolor</i>	Árbol	Ericaceae
<i>Quercus crassifolia</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Rhamnus serrata</i>	Arbusto	Rhamnaceae
<i>Roldana archerborniana</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Ageratina areolaris</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Phoebe sp</i>	Arbusto	Lauraceae
<i>Meliosma sp</i>	Arbusto	Sabiaceae
<i>Ageratina ligustrina</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Verbesina virgata</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Garrya laurifolia</i>	Arbusto	Garryaceae
<i>Roldana angulifolia</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Roldana sp.2</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	Arbusto	Caprifoliaceae
<i>Fraxinus udhei</i>	Árbol*	Oleaceae
<i>Cornus excelsa</i>	Árbol*	Cornaceae
<i>Prunus serotina</i>	Árbol*	Rosaceae

*Plántulas

3.3.1.1.3. Casa Grande

Esta población en tamaño es la segunda, y se observó de igual forma que el género *Quercus* perteneciente a la familia de las Fagaceas domina con la presencia de 4 especies (Tabla 9) entre los árboles y el resto de especies representan un espécimen por familia y género, el total de especies arbóreas fue de 12.

Entre los arbustos ocurre lo mismo para las tres poblaciones donde la familia Asteraceae es la con mayor número de especies representadas, en este caso hay 6 especies, y entre los géneros encontrados *Roldana* y *Ageratina* cuentan con 3 y 2 especies cada uno y en el resto solo una especie y por el total del estrato arbustivo se contabilizaron 13 especies (Tabla 9).

Se observó que la distribución natural de *Meliosma sp* y *Phoebe sp.* en las poblaciones estudiadas inicia a partir de la población El Polvorín hasta la población Casa Grande. En el siguiente apartado se profundizará información referente a la abundancia de especies utilizando el índice de valor de importancia.

Tabla 9. Árboles y arbustos en la población Casa Grande

Especie	Forma de vida	Familia
<i>Tilia americana</i>	Árbol	Malvaceae
<i>Cornus excelsa</i>	Árbol	Cornaceae
<i>Fraxinus udhei</i>	Árbol	Oleaceae
<i>Ilex discolor</i>	Árbol	Aquifoliaceae
<i>Quercus affinis</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Q.castanea</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Q.laeta</i>	Árbol	Fagaceae
<i>Crataegus mexicana</i>	Árbol	Rosaceae
<i>Ageratina areolaris</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>A.ligustrina</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Juniperus monticola</i>	Arbusto	Cupressaceae

Especie	Forma de vida	Familia
<i>Meliosma sp.</i>	Arbusto	Sabiaceae
<i>Phoebe sp.</i>	Arbusto	Lauraceae
<i>Roldana archerborniana</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>R.serrata</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>R angulifolia</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Roldana sp.2</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>Vaccinium leucanthum</i>	Arbusto	Ericaceae
<i>Sp.2.</i>	Arbusto	/
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	Arbusto	Caprifoliaceae
<i>Verbesina virgata</i>	Arbusto	Asteraceae
<i>B.cordata</i>	Árbol*	Asteraceae
<i>Prunus serotina</i>	Árbol*	Rosaceae
<i>Juglans mollis</i>	Árbol*	Juglandaceae
<i>Persea americana</i>	Árbol*	Lauraceae

*Plántulas

3.3.1.2. Índice de valor de importancia

3.3.1.2.1. Dos Sábados

El índice de valor de importancia (IVI) en esta población indica que *Q. glabrescens* y *T. americana* (Tabla 10) son los de mayor valor, por lo tanto, estas especies dominan en el estrato arbóreo.

En los arbustos el huihuilan (*S. microphyllus*) y la escoba (*B. conferta*) son las que dominan el estrato. El IVI también se aplicó a la regeneración natural en este caso mostró que *Q. glabrescens* y *T. americana* dominan (Tabla 11).

Tabla 10. Índice de valor de Importancia estrato arbóreo Población Dos Sábados

ESPECIE	AB m ² Ha ⁻¹	Ind Ha ⁻¹	Dom %	Den %	Frecc %	I.V.I
<i>Q. glabrescens</i>	16.25	300	35.74	42.86	28.57	107.17
<i>T. americana</i>	4.39	333	9.66	47.62	42.86	100.13
<i>A. bicolor</i>	0.34	33	0.76	4.76	14.29	19.80
<i>Q. crassifolia</i>	24.48	33	53.85	4.76	14.29	72.90
Total	45.461	700	100	100	100	300

AB= Área basal; **Ind**=Número de Individuos; **Dom**%= Dominancia relativa; **Den**%=Densidad relativa; **Frecc**%=Frecuencia relativa; **IVI**= Índice de valor de importancia; *=Regeneración natural.

Tabla 11. Índice de valor de Importancia estrato arbustivo Población Dos Sábados

ESPECIE	AB m ² Ha ⁻¹	Ind Ha ⁻¹	Dom %	Den %	Frecc %	I.V.I
<i>S. microphyllus</i>	129.84	2533	37.19	28.79	16.67	82.64
<i>A. areolaris</i>	49.64	667	14.22	7.58	8.33	30.13
<i>A. glabrata</i>	21.80	533	6.24	6.06	8.33	20.64
<i>B. conferta</i>	143.33	133	41.05	1.52	8.33	50.90
<i>F. udhei</i> *	0.32	267	0.09	3.03	8.33	11.46
<i>Q. glabrescens</i> *	2.77	2533	0.79	28.79	25.00	54.58
<i>P. serotina</i> *	0.05	267	0.01	3.03	8.33	11.38
<i>T. americana</i> *	1.37	1867	0.39	21.21	16.67	38.27
Total	349.13	8800	100	100	100	300

AB= Área basal; **Ind**=Número de Individuos; **Dom**%= Dominancia relativa; **Den**%=Densidad relativa; **Frecc**%=Frecuencia relativa; **IVI**= Índice de valor de importancia; *=Regeneración natural.

3.3.1.2.2. El Polvorín

En esta población se observó que el IVI más alto corresponde a *T. americana*, se aprecia que tanto en el espacio que cubren(Dominancia) , el número de individuos (Densidad) y la frecuencia, la especie mostró los valores altos, siendo prácticamen-

te una población pura con presencia esporádica de otras especies arbóreas de encino (Tabla 12).

Tabla 12. Índice de valor de Importancia estrato arbóreo Población El Polvorín

ESPECIE	AB m ² Ha ⁻¹	Ind Ha ⁻¹	Dom %	Den %	Frecc %	I.V.I
<i>T. americana</i>	16.10	508	76.31	17.65	36.36	130.33
<i>B. cordata</i>	0.10	8	0.46	1.60	3.03	5.09
<i>Q. castanea</i>	1.31	15	6.23	21.64	6.06	33.93
<i>Q. affinis</i>	1.24	92	5.88	20.44	27.27	53.59
<i>Q. laeta</i>	1.22	54	5.79	20.13	12.12	38.05
<i>J. mollis</i>	0.23	15	1.09	3.80	3.03	7.92
<i>C. mexicana</i>	0.10	15	0.47	1.62	6.06	8.15
<i>A. bicolor</i>	0.47	8	2.25	7.81	3.03	13.08
<i>Q. crassifolia</i>	0.32	8	1.53	5.31	3.03	9.87
Total	21.09	723	100	100	100	300

AB= Área basal; Ind=Número de Individuos; Dom%= Dominancia relativa; Den%=Densidad relativa; Frecc%=Frecuencia relativa; IVI= Índice de valor de importancia; *=Regeneración natural.

En el estrato arbustivo se observó que *A. areolaris* y *R. archerborniana* obtuvieron los valores más altos del índice, 126.69 y 85.40 respectivamente, siendo las especies más comunes y con mayor distribución. En otra apreciación del estrato se notó el inicio de la presencia de especies como *Phoebe sp.* y *Meliosma sp.* con valores en el índice bajos (Tabla 13).

Por último en cuanto los valores de IVI para la regeneración natural los tilos obtuvieron los valores más altos seguido de las especies de encino (Tabla 13).

Tabla 13. Índice de valor de Importancia estrato arbustivo Población El Polvorín

ESPECIE	AB m ² Ha ¹	Ind Ha ⁻¹	Dom %	Den %	Frecc %	I.V.I
<i>R. serrata</i>	180.12	400	3.87	11.21	21.43	36.50
<i>R. archerborniana</i>	759.80	1446	16.31	40.52	28.57	85.40
<i>A. areolaris</i>	2843.73	1323	61.04	37.07	28.57	126.69
<i>Phoebe sp</i>	50.42	123	1.08	3.45	7.14	11.67
<i>Meliosma sp</i>	20.45	31	0.44	0.86	3.57	4.87
<i>A. ligustrina</i>	803.91	246	17.26	6.90	10.71	34.87
<i>V. virgata</i>	201.60	523	4.33	14.66	17.86	36.84
<i>G. laurifolia</i>	75.87	123	1.63	3.45	14.29	19.36
<i>R. angulifolia</i>	84.15	215	1.81	6.03	10.71	18.56
<i>Roldana sp.2</i>	112.25	308	2.41	8.62	21.43	32.46
<i>S. microphyllus</i>	131.17	185	2.82	5.17	3.57	11.56
<i>T. americana*</i>	2.26	2831	0.05	79.31	28.57	107.93
<i>F. udhei*</i>	0.03	92	0.00	2.59	7.14	9.73
<i>Q. laeta*</i>	0.96	1969	0.02	55.17	32.14	87.34
<i>Q. affinis*</i>	0.27	862	0.01	24.14	35.71	59.86
<i>Q. castanea*</i>	0.00	31	0.00	0.86	3.57	4.43
<i>Q. crassifolia*</i>	0.20	246	0.00	6.90	3.57	10.47
<i>C. mexicana*</i>	0.22	123	0.00	3.45	25.00	28.45
<i>C. excelsa*</i>	0.52	369	0.01	10.34	14.29	24.64
<i>J. mollis*</i>	0.00	62	0.00	1.72	7.14	8.87
<i>P. serotina*</i>	0.05	62	0.00	1.72	3.57	5.30
Total	4658.44	3569.23	100	100	100	300

AB= Área basal; Ind=Número de Individuos; Dom%= Dominancia relativa; Den%=Densidad relativa; Frecc%=Frecuencia relativa; IVI= Índice de valor de importancia; *=Regeneración natural.

3.3.1.2.3. Casa Grande

El IVI (Tabla 14) que se obtuvo para esta población mostró que *T. americana* domina el estrato arbóreo con un valor de IVI= 109.30, seguido de *Quercus laeta*, IVI= 104.92. El resto de especies tienen un IVI < 30, también señalar que es notable en esta población la aparición de *Ilex discolor* (IVI=12.85) aun cuando no se había notado su presencia anteriormente, sin embargo es común la especie dentro de la zona.

Tabla 14. Índice de valor de Importancia estrato arbóreo Población Casa Grande

ESPECIE	AB m ² Ha ⁻¹	Ind Ha	Dom %	Den %	Frecc %	I.V.I
<i>T. americana</i>	7.28	1150	33.43	45.10	30.77	109.30
<i>C. excelsa</i>	0.28	100	1.27	3.92	3.85	9.04
<i>F. uhdei</i>	0.13	50	0.61	1.96	3.85	6.41
<i>I. discolor</i>	0.27	100	1.23	3.92	7.69	12.85
<i>Q. affinis</i>	1.46	150	6.72	5.88	11.54	24.14
<i>Q. castanea</i>	2.22	50	10.20	1.96	7.69	19.85
<i>Q. laeta</i>	9.73	850	44.65	33.33	26.92	104.91
<i>C. mexicana</i>	0.41	100	1.89	3.92	7.69	13.50
Total	21.79	2550	100	100	100	300

AB= Área basal; Ind=Número de Individuos; Dom%= Dominancia relativa; Den%=Densidad relativa; Frecc%=Frecuencia relativa; IVI= Índice de valor de importancia; *=Regeneración natural.

En el estrato arbustivo se estimó un IVI para *Phoebe sp* de 73.24 siendo la especie con el valor más alto, seguido de *A. areolaris* y *R. serrata* con valores de 45.21 y 41.80 respectivamente como las especies predominantes en el estrato (Tabla 15).

El IVI en la regeneración natural (Tabla 15) se obtuvo un valor de 31.76 para *T.americana*, y valores ligeramente más altos para *C. excelsa* y *C. mexicana*, 40.28 y 37.94.

Tabla 15. Índice de valor de Importancia estrato arbustivo Población Casa Grande

ESPECIE	AB m ² Ha ⁻¹	Ind Ha ⁻¹	Dom %	Den %	Frecc %	I.V.I
<i>A. areolaris</i>	345.90	1600	6.89	24.81	13.51	45.21
<i>A. ligustrina</i>	549.10	50	10.94	0.78	2.70	14.42
<i>J. monticola</i>	849.10	50	16.92	0.78	2.70	20.40
<i>Meliosma sp.</i>	90.50	100	1.80	1.55	5.41	8.76
<i>Phoebe sp.</i>	1344.73	1950	26.80	30.23	16.22	73.24
<i>R.archerborniana</i>	106.19	800	2.12	12.40	13.51	28.03
<i>R. serrata</i>	331.08	1050	6.60	16.28	18.92	41.80
<i>R. angulifolia</i>	31.14	150	0.62	2.33	2.70	5.65
<i>Roldana sp.2</i>	26.84	150	0.53	2.33	5.41	8.27
<i>V. leucanthum</i>	1147.70	350	22.87	5.43	10.81	39.11
<i>Sp.2</i>	196.18	200	3.91	3.10	8.11	15.12
<i>S. microphyllus</i>	19.37	200	0.39	3.10	8.11	11.59
<i>V. virgata</i>	40.67	200	0.81	3.10	8.11	12.02
<i>C. excelsa*</i>	0.34	1900	0.01	29.46	10.81	40.28
<i>C. mexicana*</i>	0.90	1400	0.02	21.71	16.22	37.94
<i>T. americana*</i>	1.16	1350	0.02	20.93	10.81	31.76
<i>Q. laeta*</i>	0.14	700	0.00	10.85	13.51	24.37
<i>B. cordata*</i>	0.01	100	0.00	1.55	2.70	4.25
<i>P. serotina*</i>	0.01	150	0.00	2.33	2.70	5.03
<i>I. discolor*</i>	0.12	50	0.00	0.78	2.70	3.48
<i>F. uhdei*</i>	0.00	50	0.00	0.78	2.70	3.48
<i>J. mollis*</i>	0.01	50	0.00	0.78	2.70	3.48
<i>P. americana*</i>	0.00	50	0.00	0.78	2.70	3.48
<i>Q. affinis*</i>	0.16	400	0.00	6.20	8.11	14.31
<i>Q. castanea*</i>	0.19	150	0.00	2.33	2.70	5.03
Total	5081.52	6450	100	100	100	300

AB= Área basal; Ind=Número de Individuos; Dom%= Dominancia relativa; Den%=Densidad relativa; Frecc%=Frecuencia relativa; IVI= Índice de valor de importancia; *=Regeneración natural.

3.3.2. Factores fisiográficos

3.3.2.1. Altitud, pendiente y exposición

Las áreas estudiadas son zonas montañosas con pendientes abruptas, la altura sobre el nivel del mar máxima es de 2300 m que corresponde a la población Dos Sábados, y la mínima es de 2100 msnm para la población Casa Grande. En las tres poblaciones predomina porcentajes de pendientes de entre el 80% al 100%. La exposición que predomina es la noroeste, en la Tabla 16 se resumen las características de cada una de las poblaciones.

Tabla 16. Datos topográficos

Población	Pendiente(°)	Exposición (° Azimut)	Altitud (msnm)
Dos Sábados	41	324	2263
El Polvorín	40	336	2178
Casa Grande	38	354	2103

3.3.3. Factores de edáficos

3.3.3.1. Horizontes

Las profundidades promedio para los diferentes horizontes del suelo se registran en la Tabla 17. Se observaron acumulaciones regulares de hojarasca entre 4 y 7 cm de profundidad, el horizonte orgánico (O) presentó profundidades mayores a 5 cm pero menores de 8 cm, y el horizonte mineral (A) superó los 10 cm pero no más de 35 cm promedio y en su mayoría los suelos son muy pedregosos con más del 60% desde el horizonte O (Figura 23).

Tabla 17. Profundidad de los horizontes superficiales del suelo

Población	Hojarasca (cm)	O (cm)	A (cm)	Pedregosidad
Dos Sábados	5	6.7	20	60%
El Polvorín	4.3	5.9	35	60%
Casa Grande	6.8	7.8	10.6	60%

O= Horizonte orgánico; A= Horizonte mineral

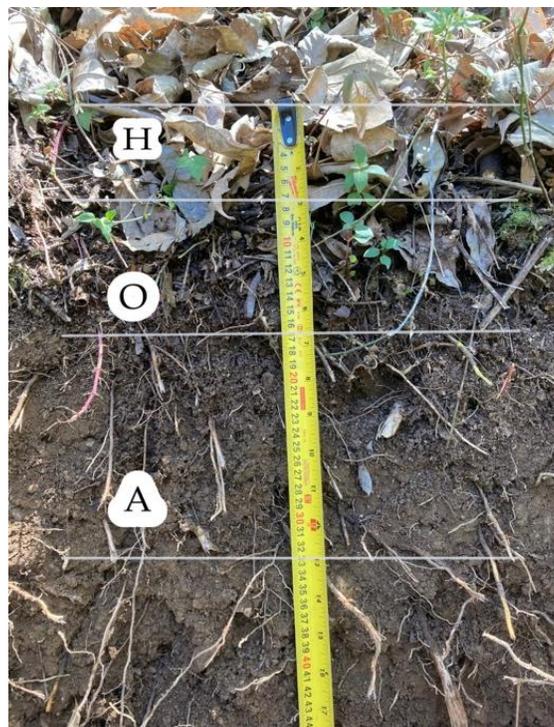


Figura 23. Profundidad de los horizontes del suelo. H= Hojarasca, O= Orgánico y A= Mineral

3.3.3.2. Características físicas y químicas del suelo

3.3.3.2.1. Humedad

El contenido de humedad gravimétrica promedio acumulada en las tres temporadas de análisis para cada una de las poblaciones no mostró diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre las poblaciones, los promedios de humedad del suelo están entre 22 % y 28 % (Figura 24).

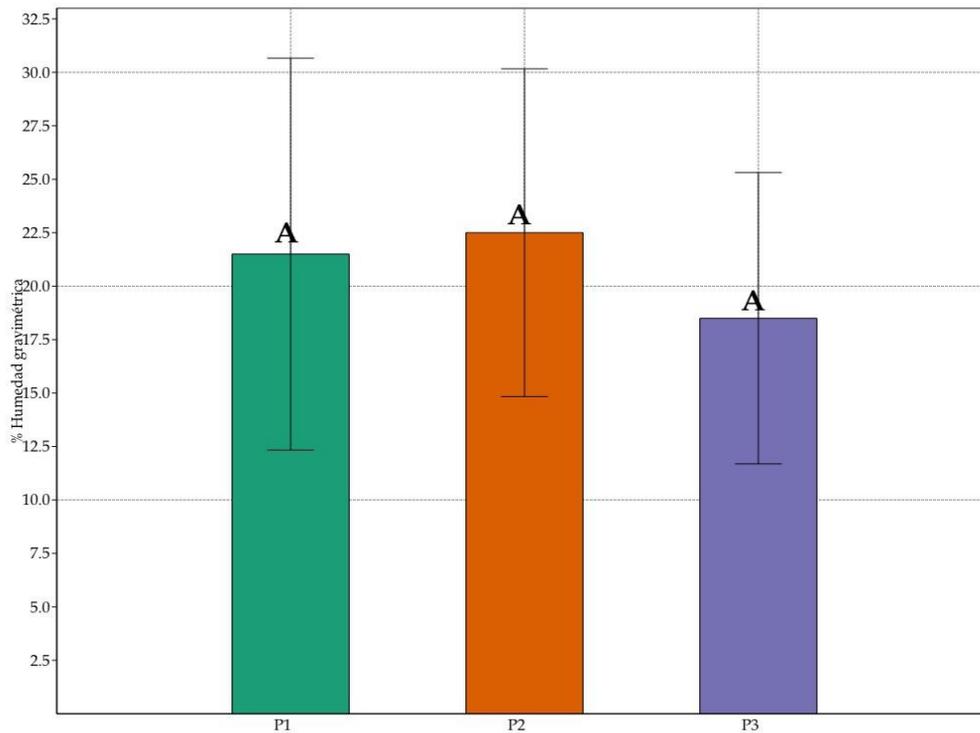


Figura 24. Porcentaje promedio de Humedad gravimétrica: **P1**: Dos Sábados, **P2**= El Polvorín y **P3**= Casa Grande

En cambio el análisis estadístico entre las diferentes épocas de lluvia para la población Dos Sábados mostró diferencias estadísticas entre Verano e invierno ($p < 0.05$). En la población El Polvorín las tres estaciones son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$) y por último en la población Casa Grande el otoño y verano difieren estadísticamente ($p < 0.05$) del invierno (Figura 25).

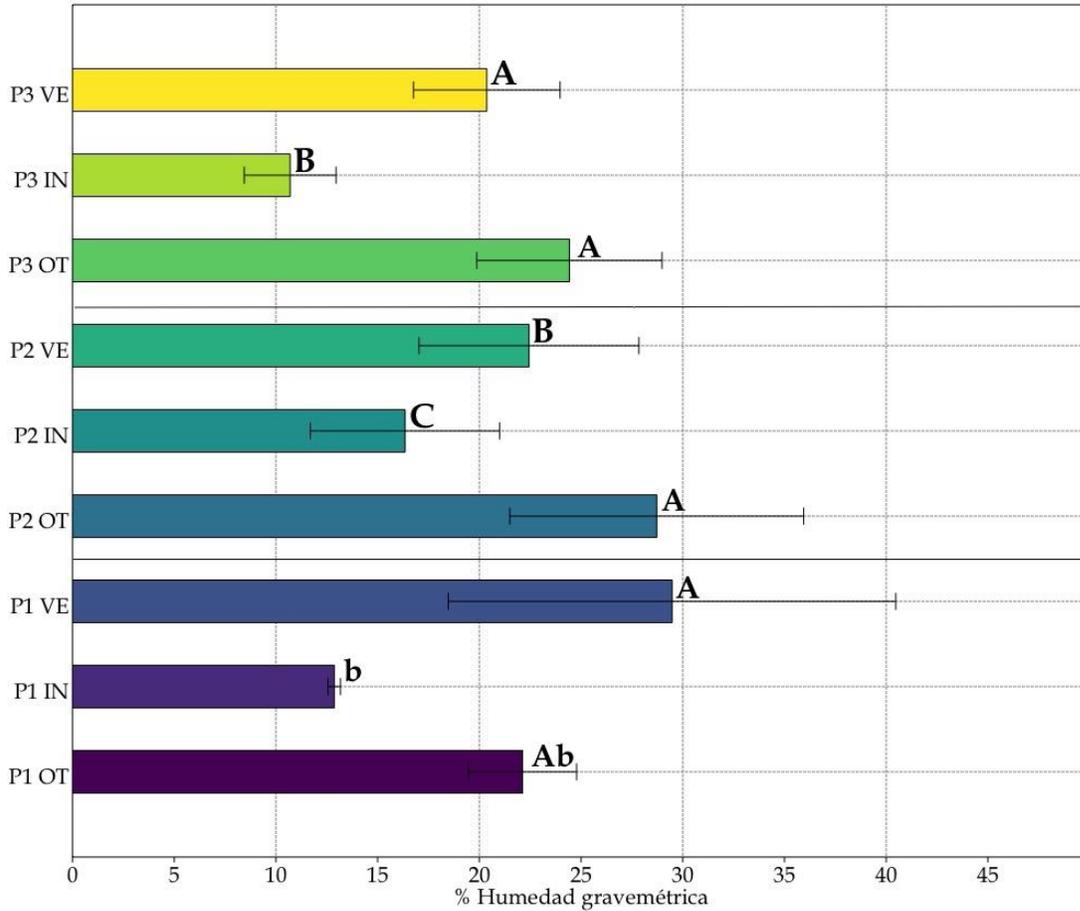


Figura 25. Variación de la humedad gravimétrica entre tres diferentes estaciones del año: **P1**: Dos Sábados, **P2**= El Polvorín, **P3**= Casa Grande, **OT**= Otoño, **IN**= Invierno y **VE**= Verano

En la Tabla 18 se muestran los valores promedio del 5% de humedad en diferentes estaciones, en la población Dos Sábados los valores más altos de humedad del suelo se obtuvieron en el verano mientras que para las poblaciones el Polvorín y Casa Grande ocurrieron en la estación de otoño.

Tabla 18. Valores promedio de Humedad en el suelo en tres diferentes estaciones del año

Estación	Dos Sábados	El Polvorín	Casa Grande
	$\bar{X}(\pm ds)$	$\bar{X}(\pm ds)$	$\bar{X}(\pm ds)$
Verano	29.47 ^a (±10.99)	22.44 ^b (±5.40)	20.37 ^a (±3.60)
Otoño	22.12 ^{ab} (±2.65)	28.72 ^a (±7.22)	24.43 ^a (±4.55)
Invierno	12.87 ^b (±0.30)	16.35 ^c (±4.65)	10.70 ^b (±2.25)

3.3.3.2.2. Textura

Conforme a el estudio de la granulometría encontramos que son suelos arenosos el porcentaje de esta va disminuyendo conforme la altura sobre el nivel del mar decrece y por el contrario los porcentajes de arcilla y limo van en aumento mientras la altura disminuye. Los porcentajes promedio más altos de arena (59.9 %) se encuentran en la Población Dos Sábados, mientras que para la arcillas(20%) y limo (33.5) las concentraciones mayores se encuentran en la Población Casa Grande (Tabla 19).

Tabla 19. Granulometría del suelo en las poblaciones de estudio

Población	%arcilla	%arena	%limo	Total
Dos sábados	12.9	59.9	27.2	100
El Polvorín	15.4	52.1	32.5	100
Casa Grande	20.0	46.5	33.5	100

Conforme al triángulo textural clasificamos los suelos para las poblaciones Dos Sábados y El Polvorín como suelos franco arenosos, y suelos francos en la población Casa Grande (Figura 26).

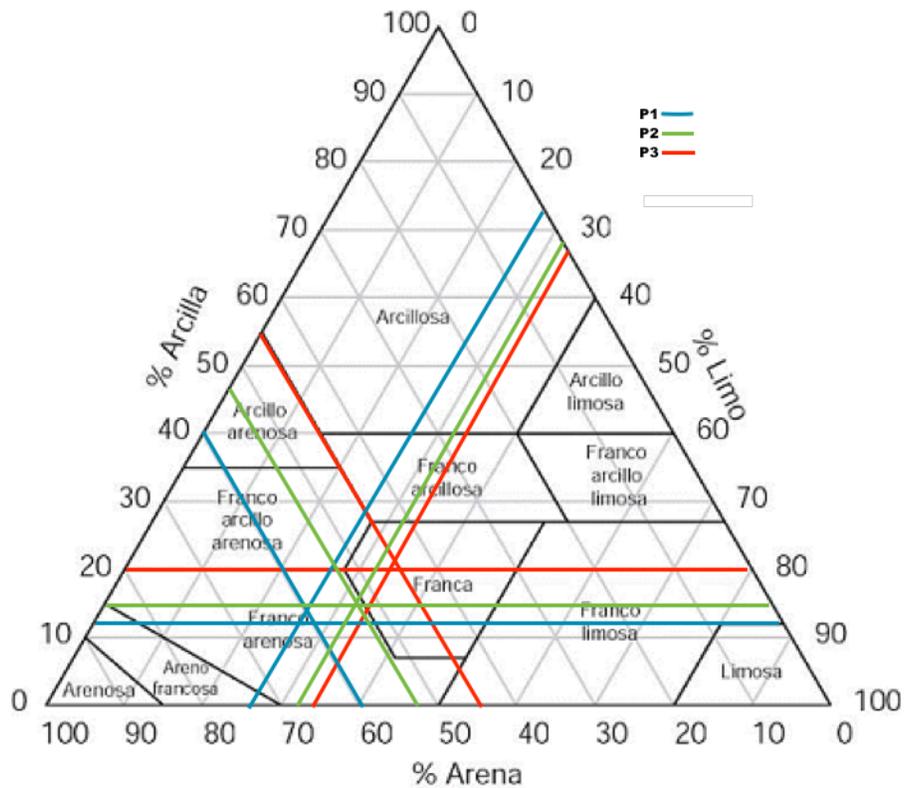


Figura 26. Clasificación textural del suelo para cada población: P1: Dos Sábados, P2= El Polvorín y P3= Casa Grande

3.3.3.2.3. Densidad aparente y Porosidad

Los suelos evaluados presentan densidad aparente promedio de 1.18, 1.11 y 1.15 g cm⁻³ para la Población Dos Sábados, El Polvorín y Casa Grande respectivamente. Los valores más altos encontrados fueron de 1.54 g cm⁻³ en la Población del Polvorín, teniendo en cuenta que también se encontraron valores inferiores a 1 g cm⁻³ en algunas zonas de las poblaciones Dos Sábados y el Polvorín (Figura 27).

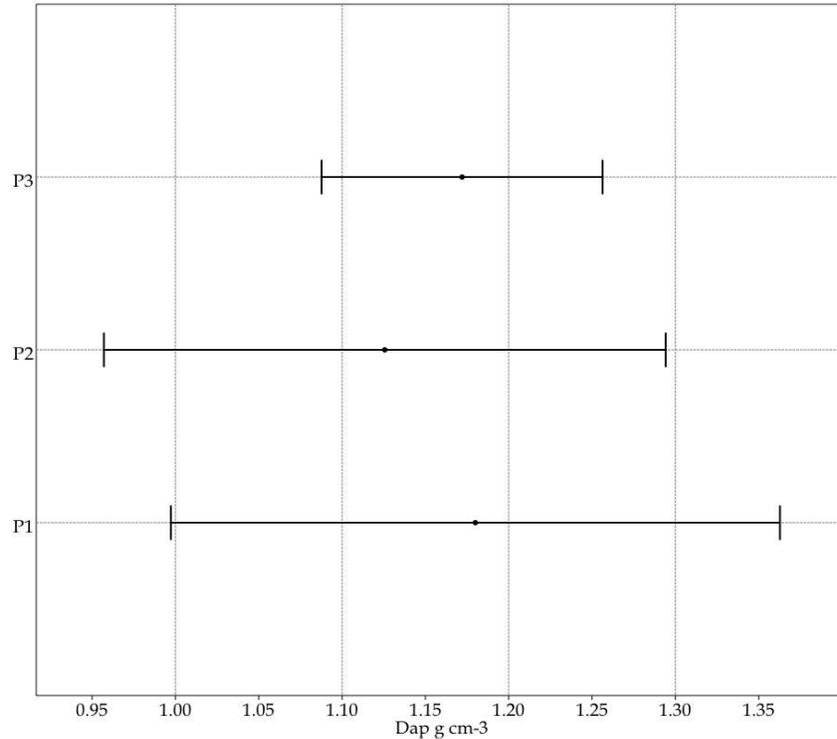


Figura 27. Densidad aparente del suelo: **P1**: Dos Sábados, **P2**= El Polvorín y **P3**= Casa Grande

El espacio poroso que se determinó de manera indirecta nos muestra porcentajes promedio de 55.47, 57.94 y 55.73 para la población Dos Sábados, El Polvorín y Casa Grande. Siendo suelos con baja compactación y por tanto con espacio para el desarrollo de raíces además de permitir el intercambio de gases y agua.

3.3.3.2.4. pH

Los suelos en estas comunidades son ligeramente ácidos a ácidos. Entre poblaciones sólo hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre la población El Polvorín y Casa Grande, el pH más alto se presentó en El Polvorín y el más bajo en Casa Grande (Tabla 20).

Tabla 20. Valores promedio de pH del suelo en las poblaciones de *T. americana* L.

Estadísticos	Dos Sábados	El Polvorín	Casa Grande
N	9	39	24
Min	5.15	4.6	4.5
Max	6.55	7.08	6.28
\bar{X}	5.63 ^{Ab}	5.78 ^A	5.38 ^b
Es	0.1928	0.1117	0.0994
S ²	0.3347	0.4862	0.2371
±ds	0.5785	0.6973	0.4869
Median	5.2500	5.9000	5.3750
CV %	10.2820	12.0604	9.0458

Los análisis estadísticos mostraron que no existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en la variación del pH entre las diferentes estaciones del año. Sin embargo se observa que en las poblaciones El Polvorín y Casa Grande las fluctuaciones en los valores del pH cambiaron de 3 a 5 décimas, mientras que en la población Dos Sábados la variación decimal se mantuvo estable (Tabla 21).

Tabla 21. Variación del pH del suelo en tres diferentes estaciones del año

Estación	Dos Sábados	El Polvorín	Casa Grande
	\bar{X} (±ds)	\bar{X} (±ds)	\bar{X} (±ds)
Verano	5.65 ^A (±0.78)	6.00 ^A ±0.64	5.50 ^A ±0.43
Otoño	5.60 ^A (±0.46)	5.56 ^A (±0.72)	5.39 ^A (±0.57)
Invierno	5.63 ^A (±0.72)	5.78 ^A (±0.71)	5.26 ^A (±0.49)

3.3.3.2.5. Conductividad eléctrica

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas ($p>0.05$) entre los valores encontrados en cada población. La conductividad eléctrica presente en los suelos fue de más a menos (Tabla 22) de la población Sábados (0.157 dS m^{-1}) a Casa Grande (0.105 dS m^{-1}). Los valores observados nos indican suelos con poca salinidad.

Tabla 22. Conductividad eléctrica del suelo

Población	Conductividad dS m^{-1} $\bar{X} (\pm ds)$
Dos Sábados	0.157 (± 0.092)
El Polvorín	0.145 (± 0.076)
Casa Grande	0.105 (± 0.046)

3.3.3.2.6. Materia orgánica (%MO) y carbono orgánico del suelo (%COS)

El ANOVA mostró que existen diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$) y de acuerdo a la prueba de Tukey los contenidos promedio de %MO (Figura 28) entre la población El Polvorín y Casa Grande es donde se encontró diferencia estadística significativa ($p=0.002$) mientras que en los análisis estadísticos descriptivos la población el Polvorín presenta los contenidos promedio más altos de materia orgánica (Tabla 23).

Tabla 23. Estadísticas descriptivas de % de MO

	Dos Sábados	El Polvorín	Casa Grande
N	9	39	24
Min	2.18	0.93	1.35
Max	10.65	21.57	11.89
\bar{X}	6.51	10.17	6.11
Es	1.06	0.85	0.62
S ²	10.05	27.97	9.08
±ds	3.17	5.29	3.01
Mediana	6.29	9.39	5.94
CV %	48.74	52.02	49.34

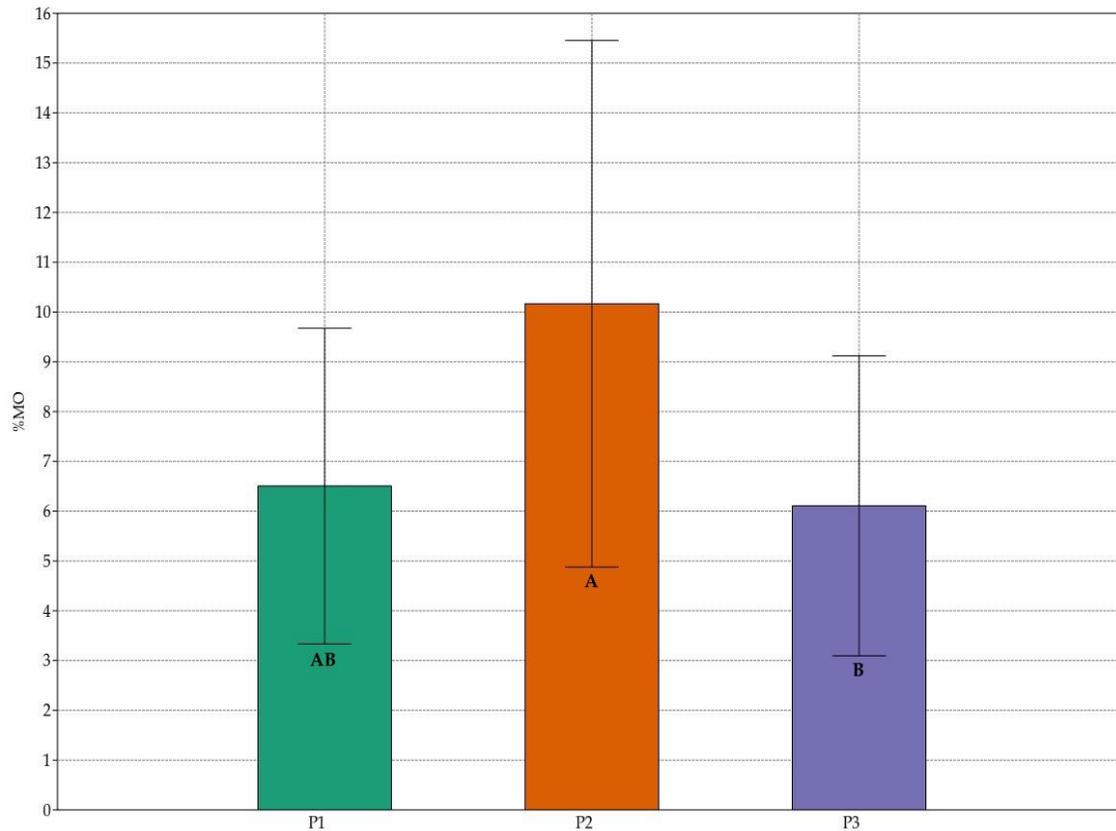


Figura 28. Valores promedio del % de MO: P1= Dos Sábados, P2= El Polvorín y P3= Casa Grande

El ANOVA realizado para la comparación de los contenidos medios de %MO entre las diferentes estaciones del año muestra que no existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) para la población el Polvorín. En la población Dos Sábados el ANOVA mostró que existe diferencia estadística ($p = 0.027$) entre las estaciones para lo cual se realizó la prueba de Tukey señalando diferencia estadística entre el otoño e invierno ($p = 0.025$). Y por último en la población Casa Grande el análisis de varianza encontró un valor de $p < 0.05$, mostrándonos diferencia estadística con la prueba de Tukey entre otoño-invierno ($p = 0.0008$) y otoño-verano ($p = 0.0008$).

De manera cuantitativa se observa que en invierno los contenidos de %MO disminuye para las poblaciones Dos Sábados y Polvorín (3.37 % y 8.52%). Mientras que en la población Casa Grande los contenidos de materia orgánica entre invierno y verano están en la misma proporción (4.5%). Por último se observa que en la población El Polvorín se mantienen concentraciones por arriba del 8 % en todas las estaciones (Figura 29).

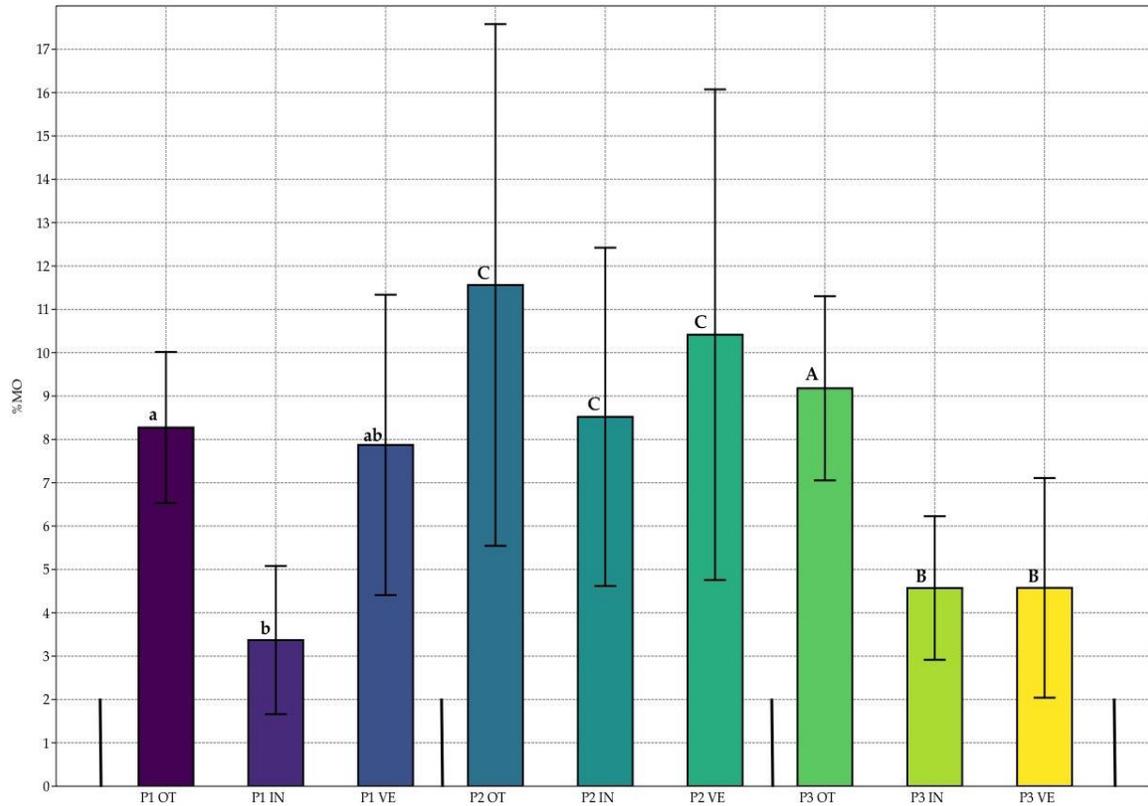


Figura 29. Variación de % de MO en tres diferentes estaciones del año: **P1**: Dos Sábados, **P2**= El Polvorín, **P3**= Casa Grande, **OT**= Otoño, **IN**= Invierno y **VE**= Verano

Los porcentajes de COS de acuerdo al análisis ANOVA existe diferencia significativa en entre las poblaciones ($p < 0.05$) y conforme a la prueba de Tukey se encontró diferencia significativa entre la Población El Polvorín y Casa Grande ($p = 0.002$). En tanto entre la población Dos sábados y Casa Grande se obtuvo un $p = 0.97$, el Polvorín y Dos Sábados $p = 0.007$ (Figura 30).

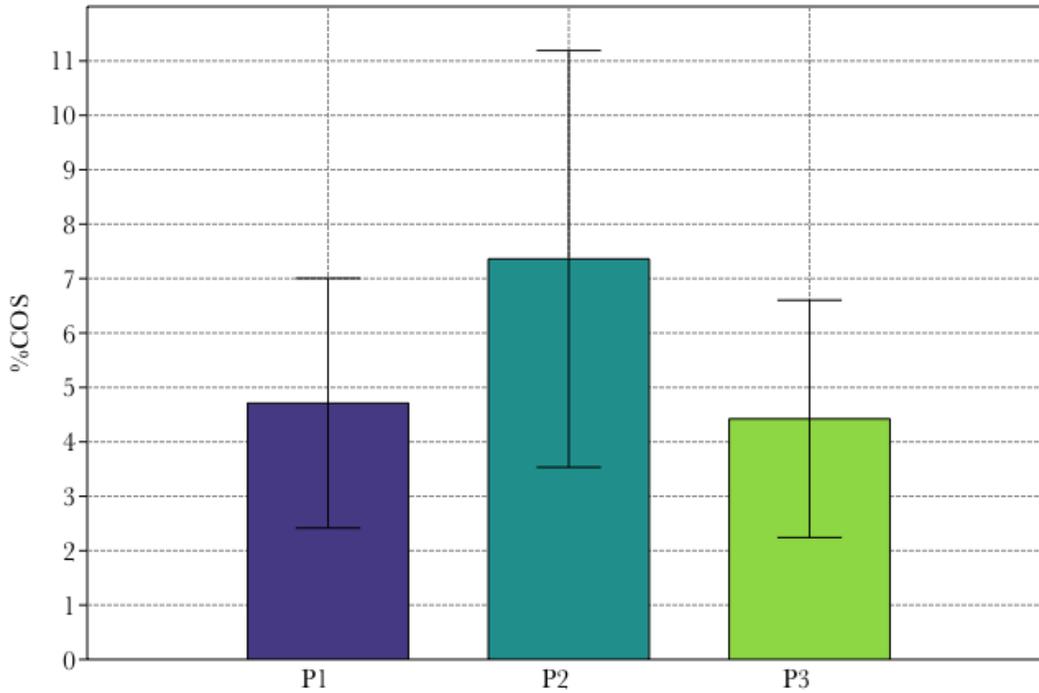


Figura 30. Valores promedio de %COS en la poblaciones: **P1**: Dos Sábados, **P2**= El Polvorín y **P3**= Casa Grande

En los estadísticos descriptivos se observa que el contenido de %COS en la población El Polvorín es el más alto con respecto a las demás poblaciones en las que el contenido es semejante (Tabla 24).

Tabla 24. Estadística descriptiva de % COS

	Dos Sábados	El Polvorín	Casa Grande
N	9	39	24
Min	1.58	0.67	0.98
Max	7.71	15.62	8.61
\bar{X}	4.71	7.36	4.42
Es	0.77	0.61	0.45
S ²	5.27	14.66	4.76
$\pm ds$	2.3	3.83	2.18
Mediana	4.55	6.8	4.3
CV %	48.74	52.02	49.33

Las variaciones entre las diferentes estaciones del año con el análisis ANOVA señala que no hay diferencias estadísticas significativas para la poblaciones Dos Sábados y el Polvorín ($p=0.09$ y $p=0.34$) en cambio el ANOVA para la Población Casa Grande mostró un $p=0.0003$, conforme a la prueba de Tukey se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre otoño-invierno y otoño-verano (Figura 31).

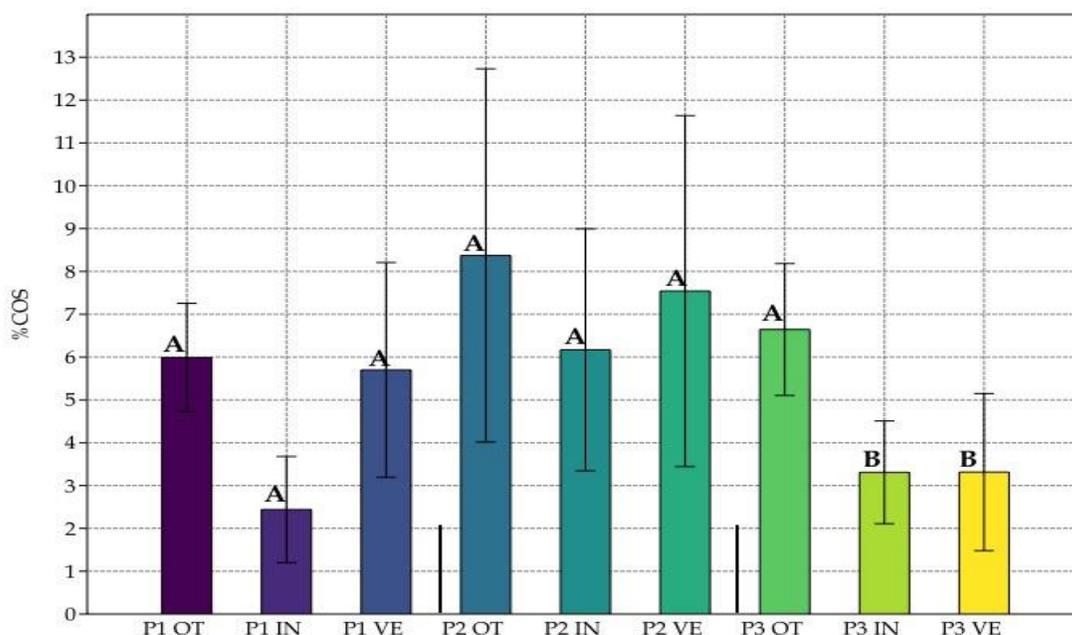


Figura 31. Variación de % COS en tres diferentes estaciones del año: P1: Dos Sábados, P2= El Polvorín, P3= Casa Grande, OT= Otoño, IN= Invierno y VE= Verano

Los contenidos promedio de % COS más altos se presentaron para las tres poblaciones en el otoño, mientras que las concentraciones disminuyeron en invierno. Para la población Casa Grande las concentraciones promedio de %COS en invierno y verano son iguales (Tabla 25).

Tabla 25. Estadísticas descriptivas de la variación de %COS en tres diferentes estaciones del año

	N	Min	Max	\bar{X}	Es	S ²	$\pm ds$	Median	CV%
P1 OT	3	4.55	6.92	5.99	0.73	1.60	1.26	6.5	21.11
P1 IN	3	1.58	3.86	2.44	0.72	1.53	1.24	1.88	50.77
P1 VE	3	2.89	7.71	5.70	1.45	6.29	2.51	6.5	43.99
P2 OT	13	1.85	15.62	8.37	1.21	18.98	4.36	7.68	52.04
P2 IN	13	1.6	10.64	6.17	0.78	7.98	2.83	5.82	45.79
P2 VE	13	0.67	13.4	7.54	1.14	16.79	4.10	6.8	54.33
P3 OT	8	4.54	8.61	6.64	0.54	2.37	1.54	6.215	23.18
P3 IN	8	1.58	4.79	3.31	0.42	1.44	1.20	3.285	36.27
P3 VE	8	0.98	6.76	3.31	0.65	3.37	1.83	3.295	55.36

P1: Dos Sábados, P2= El Polvorín, P3= Casa Grande, OT= Otoño, IN= Invierno y VE= Verano.

3.3.3.2.7. Nitrógeno total

Los análisis de varianza para los contenidos de %Nt mostraron que existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre las poblaciones, corroborando con la prueba de Tukey que la población El Polvorín y Casa Grande difieren estadísticamente ($p < 0.05$).

Los contenidos promedio más altos se registraron en la población el Polvorín, mientras que en la población Dos Sábados y Casa Grande los contenidos son similares (Tabla 26).

Tabla 26. Estadísticas descriptivas de % Nt

	Dos Sábados	El Polvorín	Casa Grande
N	9	39	24
Min	0.11	0.05	0.07
Max	0.53	1.08	0.59
\bar{X}	0.33 ^{AB}	0.51 ^B	0.31 ^A
Es	0.05	0.04	0.03
S ²	0.03	0.07	0.02
±ds	0.16	0.26	0.15
Median	0.31	0.47	0.3
CV %	48.62	52.14	49.23

Por otra parte el ANOVA entre las diferentes estaciones mostró que solo existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) en la población Casa Grande donde el otoño difiere del invierno y verano de acuerdo a la prueba de Tukey (Figura 32).

Sin embargo, los estadísticos descriptivos nos muestran que en verano las concentraciones promedio de %Nt van en aumento hasta alcanzar el pico de concentración en otoño, mientras que descende para el invierno. De la observación anterior no ocurre para la población Casa Grande donde las concentraciones promedio de nitrógeno total para invierno y verano se encuentran en proporciones similares (Tabla 27).

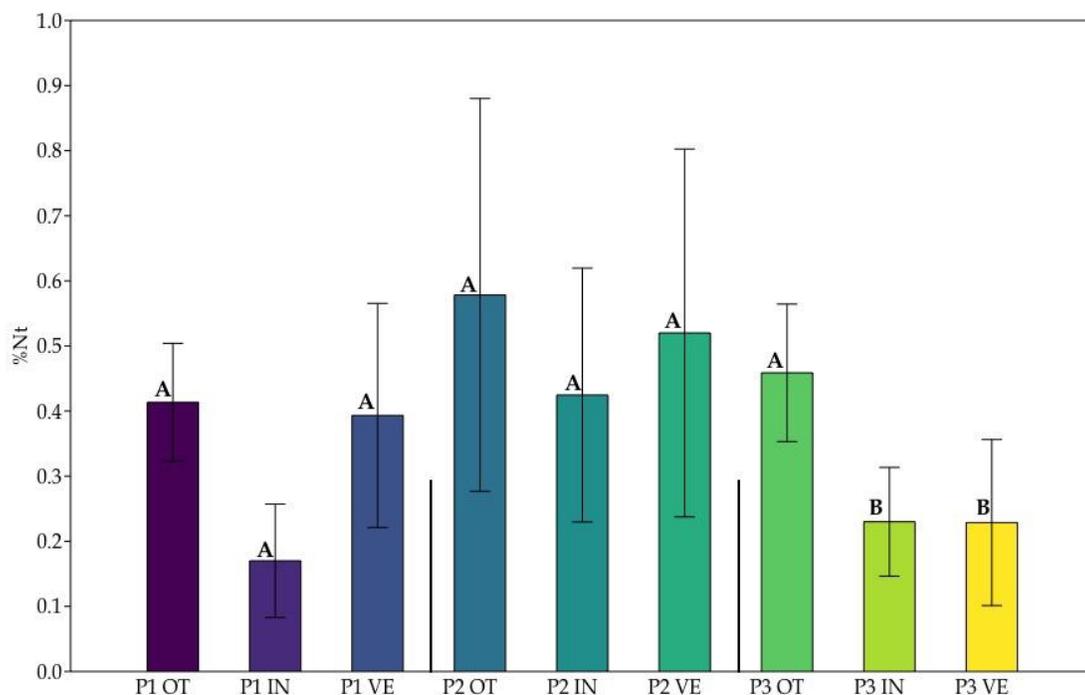


Figura 32. Variación de %Nt en tres diferentes estaciones del año: **P1**: Dos Sábados, **P2**= El Polvorín, **P3**= Casa Grande, **OT**= Otoño, **IN**= Invierno y **VE**= Verano

Tabla 27. Estadísticas descriptivas de la variación de %Nt en tres diferentes estaciones del año

	N	Min	Max	\bar{X}	Es	S ²	±ds	CV%
P1OT	3	0.31	0.48	0.41	0.05	0.01	0.09	21.95
P1 IN	3	0.11	0.27	0.17	0.05	0.01	0.09	51.28
P1VE	3	0.20	0.53	0.39	0.10	0.03	0.17	43.77
P2OT	13	0.13	1.08	0.58	0.08	0.09	0.30	52.15
P2 IN	13	0.11	0.73	0.42	0.05	0.04	0.19	45.92
P2VE	13	0.05	0.93	0.52	0.08	0.08	0.28	54.33
P3OT	8	0.31	0.59	0.46	0.04	0.01	0.11	23.02
P3 IN	8	0.11	0.33	0.23	0.03	0.01	0.08	36.30
P3VE	8	0.07	0.47	0.23	0.05	0.02	0.13	55.76

P1: Dos Sábados, **P2**= El Polvorín, **P3**= Casa Grande, **OT**= Otoño, **IN**= Invierno y **VE**= Verano.

3.3.4. Análisis climático

La recopilación de los datos climáticos en el atlas climatológico de México muestra temperaturas promedio anuales de 14.9 °C, 15.2 °C y 15.3 °C para la población Dos Sábados, El Polvorín y Casa Grande respectivamente. La cantidades anuales de lluvia acumulada disminuye conforme la altura sobre el nivel del mar es menor, en este caso la disminución de la lluvias es bastante significativa en comparación a la temperatura donde solo se observa una diferencia de apenas 0.5 °C, encontrando acumulaciones de 1251 mm para Dos Sábados, 1008 mm en El Polvorín y 918 mm en Casa Grande.

En la Figura 33 se muestran los climogramas para cada población, y de manera puntual se observa que los meses de abril y mayo son los más cálidos con temperaturas promedio mensuales de entre 17.5 y 18 °C, siendo el mes de enero el más frío teniendo temperaturas promedio entre los 12.4 y 12.8 °C en las tres poblaciones, siendo la población Casa Grande con las temperaturas más cálidas mensuales.

Con respecto a las lluvias las máximas cantidades acumuladas se registran en el mes de septiembre para las tres poblaciones, Dos Sábados 263 mm , El Polvorín 210 mm y Casa Grande 186 mm. A partir de este mes las precipitaciones comienzan a descender hasta diciembre donde se registra la menor acumulación de lluvia, esta condición de bajas precipitaciones continúa hasta marzo-abril, siendo estos meses donde se nota temperaturas altas, prevaleciendo las condiciones secas (Figura 33).

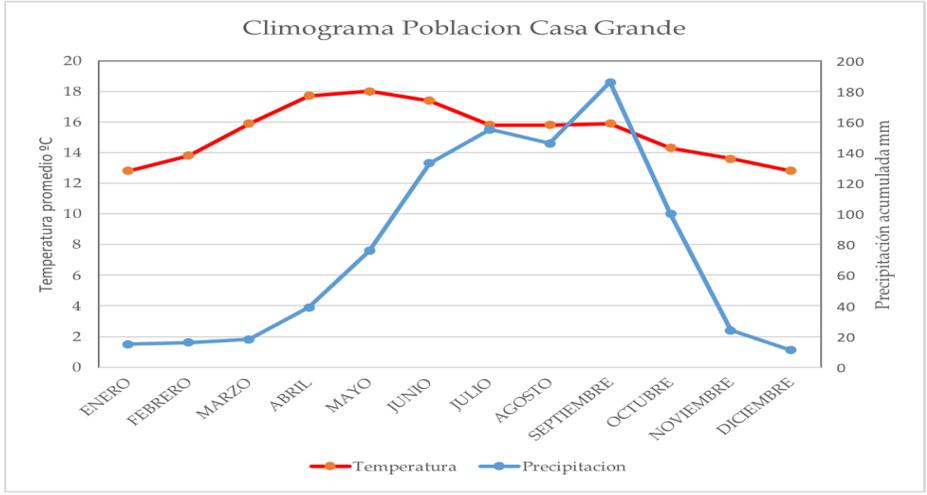
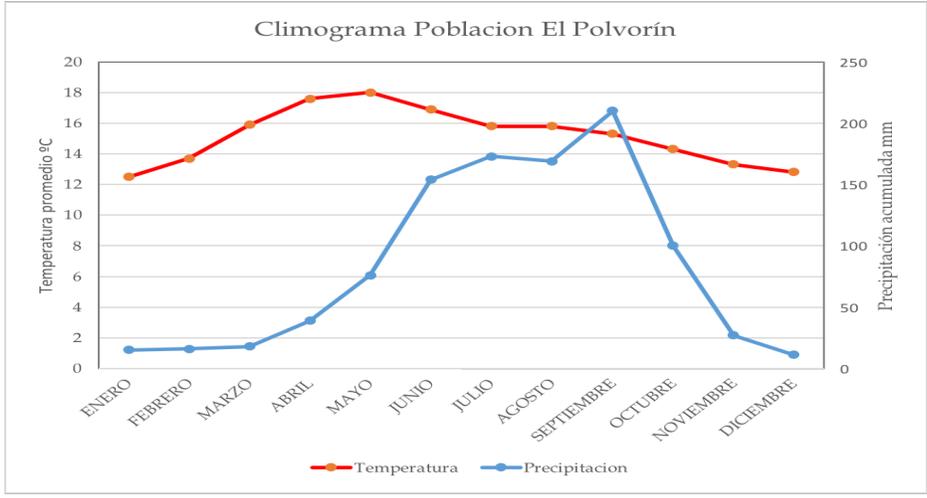
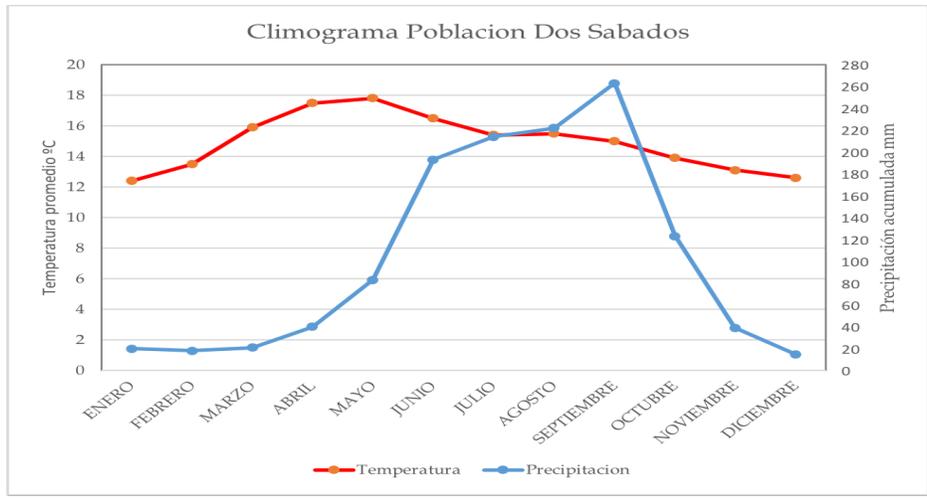


Figura 33. Climatología promedio (1902-2015) para las poblaciones de *T. americana* L. En Mineral del Chico, Hgo.

3.3.5. Relación entre la composición de la vegetación y las condiciones físicas del terreno y las condiciones ambientales

El análisis de correspondencia canónica mostró valores propios para el eje 1 de $\lambda_1=0.62$ y eje 2 $\lambda_2=0.25$, el eje uno explica el 73% de la variación de los datos y ambos el 100%, ambos muestran una alta confiabilidad en la explicación de la variación en las condiciones medioambientales y biológicas de las zonas de estudio. En cuanto al diagrama de dispersión nos muestra que la población Dos Sábados difiere en la composición de vegetación arbustiva y arbórea de las poblaciones el Polvorín y Casa Grande (Figura 34).

Observamos para *T. americana* como se asocian los valores del IVI a las precipitaciones, altitud, los contenidos de arena y conductividad eléctrica, lo cual corrobora que los tilos prefiere suelos franco arenosos ligeramente ácidos y precipitaciones abundantes que se refleja en el contenido de humedad del suelo. Dado que los valores de IVI para *T. americana* muestran que la especie es dominante y abundante para las tres poblaciones en el estrato arbóreo, en el gráfico de dispersión no muestra que no hay correlación específica con alguna de las poblaciones.

Por otra parte se observa una correlación entre las variables de temperatura promedio, profundidad de la hojarasca y el horizonte orgánico, exposición y contenido de arcilla con la presencia de *R. serrata*, *Meliosma sp.*, *Phoebe sp.*, y *C. mexicana* en la población Casa Grande. En la población El Polvorín las variables de %porosidad, %materia orgánica, %carbono orgánico, nitrógeno total, la profundidad del horizonte A se asocian a las especies *A. areolaris*, *A. ligustrina*, *Q. affinis*, *Q. castanea*, *V. virgiata* y las especies del género *Roldana*.

En cuanto a la afinidad de especies que muestra el gráfico indica que para la población Dos Sábados se asocian *Q. glabrescens*, *Q. crassifolia*, *B. conferta*, *S. mycrofilus* y *A. glabrata*. En la población El Polvorín se asocia más a especies como *J. mollis*, *G. laurifolia* y *B. cordata*. y en la población Casa Grande las especies que más se pueden asociar al sitio son *C. excelsa*, *V. leucanthum* y Sp.2.

Una última observación del gráfico de dispersión mostró que la variable de % de limo está correlacionada para la población El Polvorín y Casa Grande donde se encontraron los contenidos más altos. De todas las variables medioambientales y físico-químicas, la densidad aparente no se correlaciona con alguna de las tres poblaciones y con la variación en la composición de la vegetación por lo que no es factor que incide en el desarrollo de alguna de las especies (Figura 34).

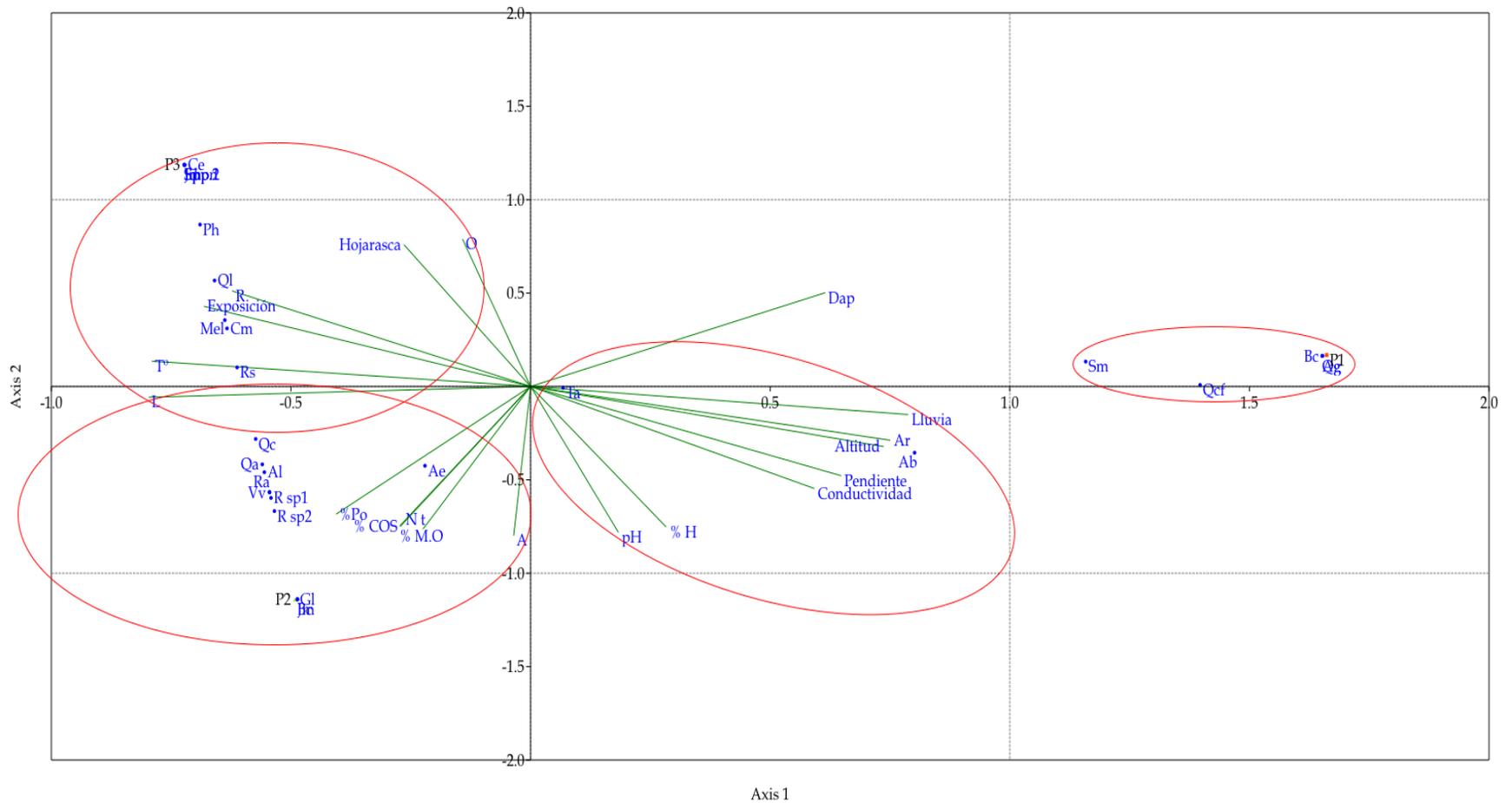


Figura 34. Gráfico de ordenación de las poblaciones, variables ambientales (vectores) y de especies (arbóreas y arbustivas) de los bosques de tilo: **P1**= Dos Sábados, **P2**= El Polvorín y **P3**= Casa Grande; Especies vegetales: **Ta**= *T. americana*, **Ce**= *C. excelsa*, **Fu**=*F. uhdei*, **Id**= *I. discolor*, **Qa**= *Q. affinis*, **Qc**= *Q. castanea*, **Ql**=*Q. laeta*, **Cm**= *C. mexicana*, **Qg**= *Q. glabrescens*, **Ab**= *A. bicolor*, **Qcf**= *Q. crassifolia*, **Bc**= *B. cordata*, **Jm**= *J. mollis*, **Sm**= *S. microphyllus*, **Ae**= *A. areolaris*, **Ag**= *A. glabrata*, **Bc**= *B. conferta*, **Rs**= *R. serrata*, **Ra**= *R. archerborniana*, **Ph**= *Phoebe* sp, **Mel**= *Meliosma* sp, **Al**= *A. ligustrina*, **Vv**= *V. virgiata*, **G1**= *G. laurifolia*, **Rag**= *R. Angulifolia*, **R sp2**= *Roldana* sp.2, **Jmon**= *J. monticola*, **Spp.1**= *V. leucanthum*, **Spp.2** = Especie sin identificar 2; Climáticas y edafológica: **T**^o= Temperatura, **O**= Horizonte orgánico, **A**= Horizonte mineral, **Ar**= Arena, **R**= Arcilla, **L**= Limo, **%Po**= Pososidad del suelo, **%H**= Humedad gravimétrica, **%COS**= Carbono orgánico del suelo, **%MO**= Materia orgánica del suelo, **Nt**= Nitrógeno tota

3.4. Discusión

3.4.1. Factores biológicos

3.4.1.1. Florística

La composición florística de los bosques de tilos estudiados es interesante y de manera muy sobresaliente presenta semejanzas con los bosque de encino que se encuentran en la zona del Parque Nacional el Chico (CONANP,2005), en las tres poblaciones la familia Asteraceae es la que aporta la mayoría de especies en el estrato arbustivo mientras que en el estrato arbóreo la familia fagácea es la que domina, siendo el género *Quercus* el que presenta el mayor número de especies.

Lo anterior concuerda con lo reportado para México, donde la familia Asteraceae es la más rica en cuanto a número de especies y el género *Quercus* resalta con 174 especies (Villaseñor,2016), encontrándose en casi todo el territorio (Rzedowski, 1978; Sarukhán y Pennington, 2005) .

La florística de las poblaciones cambian conforme a la asnm, pero dentro de los elementos florísticos inventariados, aparte de los tilos, se resalta que a partir de la población el Polvorín a la población Gasa Grande aparecen dos especies registradas en bosque mesófilo de montaña, *Phoebe* sp. y *Meliosma* sp., de la última Rzedowski (1978) en su libro de vegetación de México describe poblaciones de *Meliosma alba* en estratos arbustivo en zonas más cálidas en el umbral de BMM con selva tropical y en el estado en estudios de la vegetación de Eloxochitlán se registra *Meliosma dentata* (Rzedowski, 1978; Alcántara y Luna, 2001; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014).

Lo anterior llama la atención ya que dentro de los estudios de flora en el municipio no se tiene el registro de estas dos especies y *Tilia* en el listado del PN el Chico (CONANP, 2005) y en caso específico se hace referencia que especies de la familia Sabiaceae a la que pertenece *Meliosma* sp., de afinidad tropical prospera exclusivamente en el BMM (Rzedowski, 1978; Rzedowski,1996).

Una de las características florísticas notables de los BMM es la confluencia de elementos holárticos (hemisferio norte) y meridional (sureños) así como elementos del este de Asia (Rzedowski, 1978; Quintana-Ascencio y Gonzales-Espinosa, 1993; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014) como *Ostrya virginiana* y *Symplocos citrea* registrada en zonas cercanas a la población Casa Grande (Paredes et al., 2019). En la tabla 28 se enlistan algunos de los géneros de este trabajo y su afinidad fitogeográfica de acuerdo a Quintana-Ascencio y Gonzales-Espinosa (1993).

Tabla 28. Afinidad fitogeográfica de especies de BMM

Género	Afinidad fitogeográfica
<i>Tilia</i>	Holartico
<i>Cornus</i>	Holartico
<i>Garrya</i>	Holartico
<i>Prunus</i>	Holartico
<i>Quercus</i>	Holartico
<i>Rhamnus</i>	Este de Asia y este de Norteamérica
<i>Ageratina</i>	Neotropical andina
<i>Phoebe</i>	Pantropical
<i>Persea</i>	Pantropical
<i>Buddleia</i>	Pantropical

La florística de estos bosques es especial por su localización alejada de los BMM en el estado Hidalgo lo que indica que en el pasado este tipo de vegetación estaba distribuida en mayor amplitud que en la actual.

3.4.1.2. Estructura de acuerdo al Índice de Valor de Importancia

En las tres poblaciones los valores de IVI para *T. americana* nos señalan que la especie ocupa un papel dominante y codominante en el estrato arbóreo formando prácticamente bosque puros, mostrando semejanzas en cuanto a densidades con bosque ubicados en EUA (Abrams et al., 1998) y entre los pocos estudios donde se uti-

liza el IVI, Rodríguez-Ramírez et al.,(2018) caracterizó un bosque de haya en el municipio de Zacualtipán Hidalgo, en donde *Tilia* presenta valores de 6.2.

También se encontró que con el IVI el género *Quercus* tienen una importancia relevante dentro del dosel, con el IVI se pone de manifiesto la dominancia de *Tilia* en las dos últimas poblaciones. En la población Dos Sábados la estructura es de *Q. glabrescens*-*T. americana*, en el Polvorín hay tres especies de *Quercus* de tal forma que la asociación es de *T. americana* -*Quercus*, y para Casa Grande *T. americana*-*Q. laeta*, teniendo un dosel más rico en especies de encino en la población el Polvorín. Con lo anterior y con los datos recolectados de IVI para el estrato arbustivo donde se observa como especies de afinidad tropical y en algunos casos solo presentes en BMM incrementan su presencia a partir de la población El Polvorín a Casa Grande, teniendo elementos boreales (en estrato arbóreo) y meridionales (en estrato arbustivo) que estructuralmente caracteriza a los bosques nublados en México (Rzedowski,1978; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014).

Los valores de densidad relativa muestran las especies con mayor número de individuos por hectárea. En los valores de dominancia relativa, porcentajes altos señalan a las especies que ocupan mayor espacio en m² por hectárea y en tanto la frecuencia relativa señala que valores altos indican un patrón de distribución regular mientras que valores bajos nos indican que las especies se encuentran en patrones agregados, irregulares y dispersos (Campo y Duval, 2014).

Los patrones de distribución de *T. americana* L. y de *Quercus* en las poblaciones Dos Sábados y Casa Grande son regulares de acuerdo a los datos aportados por la frecuencia relativa, mientras que las especies de encino en la población el Polvorín se presentan de manera irregular sin formar agrupaciones puras.

De manera puntual *Meliosma* sp. presenta una distribución en manchones en las dos poblaciones donde se localizó aumentando su dominancia en Casa Grande. Y *Phoebe* sp.se observa en grupos de distribución disperso en la población el Polvorín cambiando a una distribución regular en la población Casa Grande indicando que existen mejores condiciones para su desarrollo.

De la información disponible de zonas cercanas al área de estudio Paredes et al.(2019) caracterizaron un bosque de *Q. crassifolia* donde el IVI muestra ciertas especies particulares de BMM con valores bajos. Con la información de la vegetación para el IVI se podría afirmar que estamos en un BMM no tan rico en especies y estructuralmente señala un bosque relicto ubicado en su extremo de distribución.

3.4.2. Factores fisiográficos y edafológicos

La topografía abrupta de los sitios es característico de estas zonas montañosas y existe un gradiente altitudinal que va de los 2200 a los 2100 msnm, son zonas protegidas de vientos intensos y las exposiciones noroeste y la pendientes dan lugar a zonas aisladas.

Los sitios estudiados son característicos de suelos Cambisoles (INEGI, 2015) los perfiles de los suelo muestran claramente los cambios en coloración entre horizonte, un atributo de este tipo de suelo y coincide con clasificación edafológica dada para la zona de acuerdo a la carta de suelos F 14-11 (INEGI, 2007).

La granulometría de estos suelos es arenosa y se observa una disminución de su proporción conforme la asnm disminuye, atributo que es visible en muchos de los suelos de origen volcánico (Béjar et al., 2020; Cruz-Flores et al., 2020; González-Barrios, 2011). La disminución de la arena se correlaciona negativamente con el aumento de la proporción de arcillas, esta condición es debido al aumento de la temperatura en zonas más bajas y junto con la humedad propicia la intemperización (López y Rosas, 2016) más rápida de las partículas del suelo.

La densidad aparente y la porosidad muestran que son suelos con características óptimas para el desarrollo de vegetación teniendo en consideración que Dap mayores a 1.50 g cm^{-3} ya se consideran suelos compactados (Saavedra-Romero et al., 2020). Estos suelos franco-arenosos orgánicos tiende a tener densidades aparentes de entre $<1 \text{ g cm}^{-3}$ hasta 1.50 g cm^{-3} debido a los altos contenidos de materia orgá-

nica que ayudan a disminuir la Dap (Romero-Barrios et al., 2015) como se muestra en la Tabla 29 correlacionados negativamente.

Mientras que la porosidad es otra de las propiedades muy ligadas a la Dap y a la humedad del suelo, la correlación con la Dap y la porosidad es negativa mientras esta disminuye, el espacio poroso aumenta. Con la humedad la correlación es positiva. Por tanto suelos con porcentajes >50 % de espacio poroso son adecuados para el desarrollo de los sistemas radiculares de la vegetación así como mejorar las condiciones para el desarrollo de microorganismos del suelo (Saavedra-Romero et al., 2020).

Por último la variación del porcentaje de humedad en las tres diferentes estaciones del año refleja variaciones entre las poblaciones donde a precipitación es un factor importante ya que a mayores alturas esta incrementa y se refleja en una disminución en los contenidos de agua en el suelo.

Si bien la humedad en el suelo es importante para el desarrollo de las plantas y de acuerdo a algunas ecuaciones de curvas de retención de agua (Béjar et al., 2020) se puede observar que en invierno hay poca agua disponible para la vegetación. Esto conlleva a que ciertas plantas adopten estrategias para obtener agua, como la pérdida de hojas en algunas especies o el fenómeno de levantamiento hidráulico que transporta agua de capas profundas del suelo a capas superficiales a través de las raíces en especial de especies siempre verdes (Andrade, 2005; Prieto, 2011).

Las características químicas del suelo en esta zona no difieren de la vegetación cercana y de los BMM en el estado (Rodríguez-Ramírez et al., 2018). El pH no difiere en mucho con los bosques de clima templado, pero se observaron en algunos muestreos valores de pH con valores neutros en la población El Polvorín donde las densidades de tilos son las más altas, y además de observarse mayor variación de la acidez del suelo entre estaciones.

La condición anterior es posible ya que se ha observado la capacidad calcificante de las hojas de tilo favoreciendo el aumento del pH (Page y Mitchell, 2008) pese a que existen contenidos medianos a altos de %MO lo que en la mayoría de ecosistemas propiciaría la disminución del pH del suelo (Romero-Barrios et al., 2015).

La conductividad eléctrica observada en los sitios es baja, condición propia de suelos de origen volcánico, esta se correlaciona positivamente con la humedad del suelo entre mayor sea esta, aumenta la salinidad (Tabla 29). La salinidad en el suelo es importante ya que con ello se puede inferir la salud del suelo, suelos con concentraciones altas de sales pueden ocasionar toxicidad en algunas especie forestales, valores $<2.00 \text{ dS m}^{-1}$ se consideran incipientes, de manera general lo valores encontrados son aceptables para el desarrollo de las especies forestales (Cortés et al., 2013; Saavedra-Romero et al., 2020)

La materia orgánica en los suelos es una de las propiedades más importantes en los suelos forestales porque no indica su grado de conservación y es fundamental para la microbiología del suelo que se encarga de transformarla en nutrientes disponibles para las plantas (Restrepo y Agredo, 2020).

Los contenidos promedio de materia orgánica (%MO) se consideran como medios (Nom-RECNAT-2000) por su parte se presenta coeficientes de variación ligeramente altos, siendo común en este parámetro debido a la heterogeneidad del suelo, y los contenidos de %MO altos en la población el Polvorín se deben a la mayor área basal de tilo, lo que aporta gran cantidad de hojarasca la cual tiene una baja relación lignina:C y C:N y por tanto rápida descomposición de hojas aportando mayores cantidades de materia orgánica (Pages y Mitchell, 2008).

El contenido de %MO observados son similares a los observados en el Parque Nacional El chico y a BMM, lo que nos indica buena conservación de los sitios (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014; Isla -López et al., 2014; López-Mata et al., 2014)

Aunque no se observaron diferencias estadísticas en la variación de los contenidos de %COS y %Nt en la población Dos Sábados y El Polvorín se observaron las mayores concentraciones de estos en la temporada de otoño, estación en donde la humedad del suelo es más alta debido a el pico de las precipitaciones del mes de septiembre, condición igual observada en la población Casa Grande, mas la temperaturas, lo que propicia la actividad biológica del suelo (Valenzuela y Visconti, 2018; Restrepo y Agredo, 2020).

Por el contrario en invierno las concentraciones de %MO, %COS y %Nt disminuyeron coincidiendo con las menores precipitaciones y posiblemente con la menor acumulación de hojarasca, recordando que la hojarasca de tilia rápidamente se degrada y por tanto se mineraliza rápido.

También se observa de manera general la disminución de los promedios en los tres parámetros anteriores en la población Casa Grande, las condiciones climáticas en esta población son ligeramente cálidas, factor que propicia una descomposición y mineralización más rápida de la MO (Madrigal et al., 2018 ;Valenzuela y Visconti,2018).

El %COS y el %Nt están ligados a la %MO y se correlacionan positivamente junto con la profundidad del horizonte A, ligeramente negativa con la lluvia y sutilmente positiva con la la temperatura(Tabla 29). Otros factores como la pendiente y la profundidad que afectan positivamente los contenidos de %MO, %COS y %Nt, en este caso la ubicación de los sitios estudiados a finales de barrancas se señala que es donde hay mayor concentración(Madrigal et al.,2018).

3.4.2.1. Factores climáticos

El gradiente de precipitaciones es más drástico y marcado a comparación de la temperatura que solo varía 0.5 ° C entre cada población y que está dado por el gradiente altitudinal, fenómeno influenciado por los vientos alisios que recogen humedad del golfo de México (Rzedowski, 1976; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014) a medida que ascienden haciendo que se precipiten por efecto del ascenso y enfriamiento adiabático del aire (López-Mata et al., 2014).

La posición de las poblaciones de tilos están en dirección a barlovento, por lo que las lluvias se establecen de acuerdo a los eventos de nortes y ciclones tropicales (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014) de esta manera la estacionalidad de la lluvia está muy marcada siendo los meses invernales hasta abril los de menor precipitación y la temporada más lluviosa está entre los meses de mayo a octubre, esto coincidiendo tanto en cantidad de lluvia y temporada con lo reportado en bosques nu-

blados en México que superan los 1000 mm anuales (Rzedowski,1978; Pigott, 2012; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014).

La temperatura tiene una oscilación de entre los 14 y 15 °C, siendo una diferencia ligeramente mayor entre la población Dos Sábados y El Polvorín de 0.3 °C, y a pesar de ser no tan significativa hay variación en la composición de la vegetación. Además las temperaturas medias anuales coinciden con lo reportado para los BMM y para sitios donde se ha reportado *Tilia* (Rzedowski, 1976; Pigott, 2012)

Tabla 29. Correlación de Pearson de variables climáticas y edafológicas. Correlación en la parte inferior

	R	Ar	L	Hoj	O	A	Pdte °	Ex °	asnm	pH	% MO	N t	% COS	% H	T°	Lluv	Conec	Dap	%Po
R		0.21	0.49	0.35	0.45	0.60	0.03	0.08	0.18	0.42	0.79	0.75	0.79	0.34	0.33	0.32	0.04	0.87	0.91
Ar	-0.95		0.28	0.56	0.66	0.80	0.17	0.13	0.03	0.63	1.00	0.96	1.00	0.54	0.13	0.11	0.24	0.67	0.89
L	0.72	-0.90		0.84	0.94	0.92	0.45	0.41	0.31	0.91	0.72	0.76	0.72	0.83	0.15	0.17	0.53	0.39	0.61
Hoj	0.85	-0.64	0.25		0.10	0.24	0.39	0.44	0.53	0.07	0.44	0.40	0.43	0.02	0.69	0.67	0.32	0.77	0.55
O	0.76	-0.51	0.09	0.99		0.14	0.49	0.54	0.63	0.03	0.34	0.29	0.33	0.12	0.79	0.78	0.42	0.67	0.45
A	-0.59	0.30	0.13	-0.93	-0.98		0.63	0.68	0.77	0.18	0.19	0.15	0.19	0.26	0.93	0.92	0.56	0.53	0.31
Pdte °	-1.00	0.96	-0.76	-0.82	-0.72	0.55		0.05	0.14	0.45	0.82	0.78	0.82	0.37	0.30	0.29	0.07	0.84	0.94
Ex °	0.99	-0.98	0.80	0.78	0.67	-0.49	-1.00		0.10	0.50	0.87	0.83	0.87	0.42	0.25	0.24	0.12	0.79	0.99
asnm	-0.96	1.00	-0.88	-0.67	-0.55	0.35	0.97	-0.99		0.60	0.97	0.93	0.97	0.52	0.16	0.14	0.21	0.70	0.92
pH	-0.79	0.55	-0.14	-0.99	-1.00	0.96	0.76	-0.70	0.59		0.37	0.33	0.37	0.08	0.75	0.74	0.38	0.71	0.49
% MO	-0.32	0.00	0.42	-0.77	-0.86	0.95	0.27	-0.20	0.05	0.84		0.04	0.00	0.45	0.88	0.89	0.75	0.34	0.12
N t	-0.38	0.07	0.36	-0.81	-0.89	0.97	0.33	-0.26	0.11	0.87	1.00		0.04	0.41	0.92	0.93	0.71	0.38	0.16
% COS	-0.33	0.01	0.42	-0.78	-0.87	0.95	0.28	-0.20	0.05	0.84	1.00	1.00		0.45	0.88	0.89	0.75	0.34	0.12
% H	-0.86	0.66	-0.27	-1.00	-0.98	0.92	0.83	-0.79	0.69	0.99	0.76	0.80	0.76		0.67	0.66	0.30	0.79	0.57
T°	0.87	-0.98	0.97	0.47	0.33	-0.11	-0.89	0.92	-0.97	-0.38	0.19	0.13	0.19	-0.49		0.01	0.37	0.54	0.76
Lluv	-0.88	0.98	-0.97	-0.49	-0.35	0.13	0.90	-0.93	0.97	0.39	-0.17	-0.11	-0.17	0.51	-1.00		0.36	0.55	0.77
Conec	-1.00	0.93	-0.68	-0.88	-0.79	0.64	0.99	-0.98	0.94	0.82	0.38	0.44	0.38	0.89	-0.84	0.85		0.91	0.87
Dap	-0.20	0.50	-0.82	0.35	0.49	-0.67	0.25	-0.32	0.46	-0.45	-0.86	-0.83	-0.86	-0.33	-0.66	0.65	0.14		0.22
%Po	-0.15	-0.18	0.58	-0.65	-0.76	0.88	0.09	-0.02	-0.13	0.72	0.98	0.97	0.98	0.63	0.37	-0.35	0.20	-0.94	

O= Horizonte orgánico, A= Horizonte mineral, Hoj= Hojarasca, Ar= Arena, R= Arcilla, L= Limo, Pdte°= Pendiente, Ex°= Exposición, asnm= Altura sobre el nivel del mar, %Po= Porosidad del suelo, %H= Humedad gravimétrica, T°= Temperatura, Lluv= Precipitación anual, Conec= Conductividad eléctrica, Dap= Densidad aparente %COS= Carbono orgánico del suelo, %MO= Materia orgánica del suelo, Nt= Nitrógeno total.

 =Correlación altamente positiva  =Correlación medianamente positiva  = Correlación altamente negativa

3.4.3. Relación entre vegetación y las condiciones fisiográficas, edafológicas y ambientales

Los bosques de tilo en Mineral del Chico guardan una íntima relación con las lluvias, los análisis de clima muestran 6 meses de las mayores precipitaciones en la zona, para bosques relictos la humedad es un factor determinante para su sobrevivencia estas precipitaciones son fundamentales para mantener la humedad del suelo constante, en los BMM las precipitaciones en los meses de mayor cantidad son el principal factor que determina a la riqueza de especies combinado con otros factores como el suelo (López-Mata,2014).

Los bosques dónde se localiza *Tilia* en su mayoría presenta precipitaciones por arriba de los 1000 mm anuales(Rzedowski,1978; Pigott, 2012) esta condición está relacionada con la posición de barlovento de los sitios estudiados los cuales están expuesto a las corrientes de humedad que provienen del golfo de México, sumado a la topografía abrupta y su posición en finales de barrancas protegidos de la intensidad de los rayos solares y vientos (Figura 35) en estos lugares las condiciones climáticas y edáficas se mantienen estables y se refleja en bosque formando manchones aislados en las zonas mencionadas.

Las otras variables relacionadas con la presencia de tilos como humedad del suelo que está directamente correlacionada con las altas precipitaciones en la zona lo cual mantiene la disponibilidad de agua durante periodos amplios , pendientes de casi el 100% de difícil acceso lo cual es un factor que impide la actividad antropogénica (Pavón-Hernández y Rico-Gray, 2004) y ha sido un factor para que permanezcan estos bosques. Por otra parte el pH aumenta conforme los valores del IVI son más altos, lo cual se correlaciona con una acidez ligeramente ácida a neutra como lo reporta Pages y Mitchell (2008) en bosques de EUA, lo que sugiere que los tilos son fundamentales para la disponibilidad de nitrógeno, ya que se reporta gran actividad de *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* en suelos con dominancia de tilos (Lodhi y Ruess, 1988) .

Estudios en bosques *Fagus* y *Acer* (Vargas-Rodríguez y Platt, 2012; Rodríguez-Ramírez et al., 2018) señalan la importancia de las condiciones climáticas, edafológicas y fisiográficas para el establecimiento de ecosistemas con características específicas para su desarrollo, y la combinación de estas características origina bosques con características únicas en cuanto a su estructura y florística (Pennington y Sarukhán, 2016; Bahamonde et al., 2018).



Figura 35. Relictos de bosque de tilia en cañadas protegidas

Bosques de haya, arces y tilos ampliamente distribuidos en EUA y Canadá muestran una gran tolerancia a la sombra (Duveneck et al., 2014) y en el país han prevalecido en BMM desde las últimas glaciaciones, periodo donde se ha registrado su presencia a través de estudios paleobotánicos (Pigott, 2012; Castillo-Batista et al., 2016) el bosque nublado es donde la alta humedad y lluvias combinado con la fisiografía montañosa crea el ambiente perfecto para que se encuentren estos bosques relictos en México.

La similitud florística entre El Polvorín y Casa Grande refleja que los cambios en el clima y el suelo modifican la estructura y composición florística de un ecosistema, poniendo de manifiesto la presencia de *Meliosma sp.* y *Phoebe sp.* donde las temperaturas medias anuales son ligeramente más altas, estas especies solo están registradas en bosques nublados (Rzedowski, 1978; Rzedowski, 1996).

3.5. Conclusiones

Las condiciones climáticas, edafológicas y fisiográficas en conjunto generan un microclima en las cañadas protegidas del río del Milagro en Mineral del Chico, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de poblaciones relictas de *Tilia americana* L.

La presencia de algunos elementos florísticos como *Meliosma sp.* y *Phoebe sp.*, en la poblaciones estudiadas reafirman la afinidad de estos bosques relictos con el bosque mesófilo de montaña del estado de Hidalgo. Lo que representa un aporte para el conocimiento de la flora de la región y la distribución del bosque mesófilo de montaña en el pasado.

Con los resultados obtenidos de este trabajo, también se puede concluir que los tilos requieren zonas protegidas con humedad constante en la mayor parte del año para su óptimo desarrollo.

3.6. Literatura citada

- Abrams, M. D., Ruffner, C. M., y DeMeo, T. E. (1998). Dendroecology and species co-existence in an old-growth Quercus-Acer-Tilia talus slope forest in the central Appalachians, USA. *Forest Ecology and Management*, 106(1), 9-18. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00234-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00234-X)
- Alcántara Ayala, O., y Luna Vega, I. (2001). Análisis florístico de dos áreas con bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán

- y Tlahuelompa. *Acta Botanica Mexicana*, 54, 51.
<https://doi.org/10.21829/abm54.2001.868>
- Andrade, J. L. (2005). Fisiología ecológica de árboles tropicales: avances y perspectivas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 11(2), 83–91.
- Bahamonde, H. A., Pastur, G. M., Lencinas, M. V., Soler, R., Rosas, Y. M., Ladd, B., Guardia, S. D., y Peri, P. L. (2018). The relative importance of soil properties and regional climate as drivers of productivity in southern Patagonia 's *Nothofagus antarctica* forests. *Annals of Forest Science*, 75(2).
<https://doi.org/10.1007/s13595-018-0725-7>
- Bejar Pulido, S.J, Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M.I, y Luna Robles, E.O. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo Moisture retention curves and pedotransfer models in Andosol under different land uses. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 30–50.
- Campo, A.M., Y Duval, V.S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural . Parque Nacional Lihué Calel (Argentina) 1. *Anales de Geografía*, 34, 25–42.
https://doi.org/https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071
- Cantú Silva, I., y Yáñez Díaz, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 122–151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Castillo-Batista, A. P.del., Figueroa-Rangel, B. L., Lozano-García, S., Olvera-Vargas, M., y Guzmán, R. C. (2016). Historia florística y ambiental del bosque mesófilo de montaña en el centro-occidente de México durante la pequeña edad de hielo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1), 216–229.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.021>
- Colín-Navarro, V., Domínguez-Vara, I., Olivares-Pérez, J., Castelán-Ortega, O. A., García-Martínez, A., y Avilés-Nova, F. (2019). Propiedades Químicas Y Mi-

- crobiológicas Del Estiércol De Caprino Durante El Compostaje Y Vermicompostaje. *Agrociencia*, 53(2),161–173.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas naturales Protegidas). 2005. Programa de conservación y manejo Parque Nacional el Chico. SEMARNAT. México, D. F., México. 236 p
- Cortés, D., Pérez, J., y Camacho Tamayo, J. (2013). Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 16(2), 401–408. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n2.2013.912>
- Cruz-Flores, G., Guerra-Hernández, E. A., Valderrábano-Gómez, J. M., y Campo-Alves, J. (2020). Soil quality indicators in temperate forests of the Volcanoes Biosphere Reserve, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 781–793. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.421>
- Duveneck, M. J., Scheller, R. M., White, M. A., Handler, S. D., y Ravenscroft, C. (2014). Climate change effects on northern Great Lake (USA) forests: A case for preserving diversity. *Ecosphere*, 5(2), 1–26. <https://doi.org/10.1890/ES13-00370.1>
- González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., y Valenzuela-Núñez, L. M. (2011). CARACTERIZACIÓN DE LA POROSIDAD EDÁFICA COMO INDICADOR DE LA CALIDAD FÍSICA DEL SUELO. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 369–377. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000400369&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A.(comps.). (2014). Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, ecología y manejo. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 352p. http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pdf/BosquesMesofilos_montana_baja.pdf
- Hardin, J. W. (1990). Variation Patterns and Recognition of Varieties of *Tilia americana* s.l. *Systematic Botany*, 15(1), 33. <https://doi.org/10.2307/2419014>.

- Hernández Ordoñez, J. O., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Ortiz Solorio, C. A., Sánchez Guzmán, P., y Ángeles Cervantes, E. R. (2017). Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla. *Revista Terra Latinoamericana*, 35(2), 179. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.201>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015). Guía para la interpretación de la cartografía Edafología Escala 1:250 000 Serie III. México. 1-60.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía).2007. Carta edafológica Pachuca de Soto F14-11. Serie II escala 1: 250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. –México.
- Instituto de Ciencias atmosféricas y Cambio Climático, UNAM.(s.f.). Atlas climático digital de México. Recuperado el 25 de noviembre de 2021 de <https://atlasclimatico.unam.mx/acdm/visualizador>.
- Islas-López, Y., Acevedo-Sandoval, O., Cruz-Chávez, E., Prieto-García, F., y Rodríguez-Laguna, R. (2014). Formas de carbono en suelos del Parque Nacional. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(4), 147-157.
- Lodhi, M. A. K., y Ruess, R. W. (1988). Variation in soil nitrifiers and leaf nitrate reductase activity of selected tree species in a forest community. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(6), 939-943. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90107-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90107-1)
- López Ríos, G. F., y Rosas López, U. Y. (2016). *Ecofisiología de árboles* (3ª edición ed.). Texcoco, Edo.de México, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- López-Mata, L., Villaseñor, J.L., y Cruz-Cárdenas, G. (2014). Predictores ambientales de la riqueza de especies de plantas del bosque húmedo de montaña de México. *Botanical Sciences*, 90(1), 27. <https://doi.org/10.17129/botsci.383>
- Madrigal Reyes, S., Cristóbal Acevedo, D., Hernández Acosta, E., y Romo Lozano, J. L. (2018). Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(51), 201-223. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>

- Mostacedo, B. y Fredericksen, T.S.(2000).Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de manejo forestal sostenible (BOLFOR). Bolivia.
- Page, B. D., y Mitchell, M. J. (2008). The influence of basswood (*Tilia americana*) and soil chemistry on soil nitrate concentrations in a northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(4), 667–676.
<https://doi.org/10.1139/X07-187>
- Paredes Orta, A., Razo Zárate, R., Rodríguez, R., y Suárez Islas, A. (2019). Diversidad de especies arbóreas y arbustivas del ejido El Puente, Mineral del Chico, Hidalgo. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 13.
<http://www.reibci.org/publicados/2019/oct/3700105.pdf%0AA11>
- Pavón-Hernández, N. P., y Rico-Gray, V. (2004). DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Tilia mexicana* Schlecht. (Tiliaceae) EN EL PAISAJE DEL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO. *Universidad y Ciencia*, 20(39), 29–32.
- Pennington, T. D., y Sarukhann, J. (2016). Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies (3ª ed.). Ciudad de México, Ciudad de México, México: Ediciones científicas Universitarias.
- Pigott, D.(2012). Lime-trees and Basswoods: A biological monograph of the genus *Tilia*. United Kingdom: Cambridge University press.
- Prieto Aguilar, I. (2011). Patrones de redistribución hidráulica y su importancia en zonas áridas. *Ecosistemas*, 20(2–3), 107–111.
- Quintana-Ascencio, P. F., y González-Espinosa, M. (1993). Afinidad fitogeográfica y papel sucesional de la flora leñosa de los bosques de pino-encino de los Altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*, 21, 43.
<https://doi.org/10.21829/abm21.1993.667>
- Restrepo Rivera, J., y Agredo España, D. (2020). Mierda a la Carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Cali, Colombia: Imágenes Gráficas BIC S.A.S.
- Rodríguez-Ochoa, R., Olarieta Alberdi, J., Chocarro Gómez, C., Martínez, V., y Bilbao, I. (2014). Autoecología y distribución potencial de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) en la zona norte de Monegros. *Ecosiste-*

- mas: *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 23(2), 108–115. <https://doi.org/10.7818/re.2014.23-2.00>
- Rodríguez-Ramírez, E. C., Sánchez-González, A., y Ángeles-Pérez, G. (2018). Relationship between vegetation structure and microenvironment in *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana* forest relicts in Mexico. *Journal of Plant Ecology*, 11(2), 237–247. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw138>
- Romero-Barrios, C., García-Gallegos, E., y Hernández-Acosta, E. (2015). Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5), 63–70.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Distrito Federal, México: Limusa.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35, 25–44.
- Saavedra-Romero, L. de L., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T., y Hernández-De la Rosa, P. (2020). Physical and chemical properties of the urban soil in the San Juan de Aragon Park, Mexico City. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 529–540. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. 2da Sección, 30 de Diciembre de 2010.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 31 de diciembre de 2002. México, D.F., México.
- Vargas-Rodríguez, Y. L., y Platt, W. J. (2012). Remnant sugar maple (*Acer saccharum* subsp. *skutchii*) populations at their range edge: Characteristics, environmental constraints and conservation implications in tropical America.

Biological Conservation, 150(1), 111-120.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.006>

Villaseñor Ortiz, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo. In Universidad Técnica de Machala.
[http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS Y PROCEDIMIENTOS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS_Y_PROCEDIMIENTOS.pdf)

Villaseñor, J. L. 2016. Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 87(3), 559-902.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Los tilos en la zonas estudiadas ha desarrollado una capacidad de reproducción por medio de brotes vegetativos ante la escasa producción de semillas viables, lo que ha permitido su permanencia en sitios protegidos.

Estructuralmente estos bosques caducifolios de tilos dominan el estrato arbóreo. Su permanencia esta determinada por su localización en cañadas cercanas a corrientes de agua perenes manteniendo suelos con humedad constante aun en las estaciones mas secas. Este tipo de vegetación también se ve influenciado por la precipitaciones abundantes de la zona, las cuales se mantienen en casi todos los meses del año. Las condiciones edafo-climáticas y topográficas también a generado un microclima para *Meliosma* sp. y *Phoebe* sp. exclusivas del bosque mesófilo de montaña (BMM). Con lo anterior se aporta información para conocer la superficies donde existió BMM y considerar estas áreas como bosques relictos.

Por otro lado, se sugiere utilizar la especie en sistemas agroforestales, dado que mejora ciertas características del suelo como gran aporte de materia orgánica, sus hojas ayudan a mantener pH cercanos a la neutralidad con mucha actividad microbiológica. Con estas variables edafo-climáticas y fisiográficas se podría construir modelos en un SIG para localizar áreas potenciales de para la reforestación de *T.americana* L. dentro del municipio.

IX. ANEXO

FECHA= _____

Población= _____

Valores según el porcentaje de avance en cada fenofase

0=0% 2=15-80%

1=1-15% 3=81-100%

Fenología Árbol 1 Árbol 2 Árbol 3

Hojas

Nuevas			
Maduras			
Sin			

Floración

Inicio			
Pico			
Fin			

Fruto

Verde			
Marrón			
Dehisado			

Observaciones:

--