



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

“Calidad del suelo y servicios ecosistémicos en la Región Terrestre Prioritaria 105”

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ADRIANA SOLÍS BRAVO

Directora de tesis:

Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide

Julio 2020



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”



“Calidad del suelo y servicios ecosistémicos en la Región Terrestre Prioritaria 105”

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ADRIANA SOLÍS BRAVO

Comité tutorial:

Director	Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide
Co-director	Dr. Miguel Ángel Valera Pérez
Tutora	Dra. María Teresa Zayas Pérez
Integrante Comité Tutorial	Dra. María Teresa Flores Sotelo
Integrante Comité Tutorial	Dr. Alejandro Isaías A. Alonso Calderón

Julio 2020

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	6
II.	ANTECEDENTES.....	7
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
III.I	Problema de investigación	9
III.II	Delimitación.....	10
III.III	Pregunta de investigación	12
III.IV	Hipótesis y Objetivos	12
III.IV.I	Hipótesis de investigación	12
III.IV.II	Objetivo general	12
III.IV.III	Objetivos específicos.....	12
III.V	Justificación	13
IV.	MARCO TEÓRICO	15
IV.I	Calidad de Suelo	15
IV.I.I	Calidad del Suelo y Salud del Suelo.....	19
IV.I.II	Evaluación de la calidad de suelo	20
IV.II	Suelo en México	22
IV.III	Servicios ecosistémicos	25
IV.III.I	Servicios ecosistémicos que proporciona el suelo	29
V.	METODOLOGÍA	33
V.I	Etapa 1: Recopilación de información bibliográfica y trabajo cartográfico	33
V.II	Etapa 2: Estructura y análisis de la información	34
VI.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	35
VI.I	Vegetación y uso de suelo.....	36
VI.I.I	Bosque mesófilo de montaña	38
VI.II	Clima	42
VI.III	Fisiografía.....	44
VI.III.I	Eje Neovolcánico.....	44

VI.III.II Sierra Madre Oriental	46
VI.III.III Llanura Costera del Golfo Norte	47
VI.IV Orografía	48
VI.V Geología.....	49
VI.V.I Provincia Sierra Madre Oriental	50
VI.V.II Provincia Llanura Costera del Golfo Norte	51
VI.V.III Provincia Eje Neovolcánico.....	52
VI.VI Hidrografía.....	53
VI.VII Suelos	54
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
VIII. CONCLUSIÓN.....	79
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS	90
ANEXO 1. Criterios para la evaluación de la Región Terrestre Prioritaria 105 ..	91
ANEXO 2. Valores de conservación para la RTP 105	98
ANEXO 3. Geolocalización de los perfiles edafológicos recopilados.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Región Terrestre Prioritaria 105.	11
Figura 2. Relaciones entre las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos que proporciona.	16
Figura 3. <i>La calidad/salud del suelo y su</i> relación con las propiedades del suelo.	20
Figura 4. Relaciones entre índices de calidad del suelo y funciones ecosistémicas	21
Figura 5. Mapa de tipos de suelo en México.....	23
Figura 6. Mapa de tipos de degradación del suelo en México.....	24
Figura 7. Flujo de servicios ecosistémicos a la sociedad	30
Figura 8. Relaciones entre suelo y servicios ecosistémicos.....	32
Figura 9. Uso del suelo en la RTP 105.	37
Figura 10. Distribución del bosque mesófilo de montaña en México.....	39
Figura 11. Distribución del bosque mesófilo de montaña en la RTP 105.	40
Figura 12. Bosque mesófilo de montaña en Cuetzalan.....	41
Figura 13. Distribución del clima en la RTP 105.....	43
Figura 14. Provincias fisiográficas en la RTP 105.	45
Figura 15. Orografía de la RTP 105	49
Figura 16. Cuerpos de agua en la RTP 105.....	54
Figura 17. Tipos de suelo en la RTP 105.	55
Figura 18. Municipios de la RTP 105	58
Figura 19. Localización de perfiles edafológicos en la RTP 105.	59

Figura 20. Perfiles con calidad dinámica e inherente en la RTP 105.	68
Figura 21. Análisis de Componentes Principales utilizando las variables observadas en los suelos de la RTP 105.....	69
Figura 22. Grafica de análisis del Modelo Lineal General aplicado a las variables observadas en los suelos de la RTP 105.	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conceptos de calidad de suelo.	18
Tabla 2. Registro de los perfiles edafológicos en la RTP 105.	60
Tabla 3. Tipo de suelo en los perfiles edafológicos en la RTP 105.	61
Tabla 4. Clasificación de la textura del suelo.	64
Tabla 5. Valores de referencia para porcentaje de materia orgánica en el suelo..	66
Tabla 6. Valores de referencia para porcentaje de nitrógeno total en suelos no volcánicos.....	67
Tabla 7. Valores de referencia para porcentaje de nitrógeno total en suelos volcánicos.....	67

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural dinámico, no renovable y esencial para la vida (Schoonover & Crim, 2015), el cual posee propiedades inherentes y dinámicas, que determinan la forma en la que ocurren los procesos dentro de este compartimento ambiental, y pueden ser medidas y usadas para evaluar la calidad del mismo (Dominati *et al.*, 2010).

La definición básica de calidad del suelo dice que es la capacidad que tiene este cuerpo natural para funcionar (Karlen *et al.*, 1997). Esta definición funcional equilibra los componentes físicos, biológicos y químicos del suelo (Schoonover & Crim, 2015).

El suelo es esencial para la supervivencia y las actividades de la biodiversidad terrestre y un ecosistema se caracteriza por una amplia variedad de organismos. Los ecosistemas dependen de las propiedades de sus suelos, y se encuentran en un constante proceso de modificación de estas. Bajo dichas condiciones, los suelos brindan diversos servicios a los humanos, conocidos como servicios ecosistémicos (Nanzyo & Kanno, 2018). Estos se definen como la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad (FAO, 2020b).

Un enfoque de servicios ecosistémicos permite que la contribución de los suelos al bienestar humano sea reconocida en la toma de decisiones sociales. Por medio de este enfoque se facilita un análisis integral de la relación entre el ambiente, la economía y la sociedad en cuanto al uso actual de la tierra (Breure *et al.*, 2012).

Ya que el suelo es un sistema complejo, que requiere un enfoque holístico para comprender los servicios que ofrece a la sociedad, son deseables las contribuciones de estudios regionalizados (Pavan & Ometto, 2018), por lo que el presente trabajo relaciona la calidad del suelo con los servicios ecosistémicos en una Región Terrestre Prioritaria de conservación en México, dentro del estado de Puebla.

II. ANTECEDENTES

En la Región Terrestre Prioritaria 105 se han realizado múltiples estudios referentes a recursos naturales, sin embargo, hay escasos documentos que hablen específicamente del recurso suelo y la calidad de este, o bien, que relacionen la calidad del suelo con los servicios ecosistémicos que se proveen.

En años recientes se han hecho distintas investigaciones referentes al recurso edáfico que serán de utilidad en la elaboración de este proyecto de investigación, que pretende explorar un enfoque novedoso, basado en experiencias previas para así relacionar la calidad del suelo con los servicios que proporciona a la sociedad dentro de una región de interés biológico.

A continuación, se listan trabajos referentes a suelo en el área:

- Valera en 1986 realiza el inventario de suelos de la región de Teziutlán, y genera la información básica sobre los suelos de la región, con especial interés en la problemática presentada por los suelos de origen volcánico.
- Valera en 1993 examina la fisicoquímica y mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.
- Tenorio en 2003 evalúa los recursos naturales suelo y agua del municipio de Xochitlán de Vicente Suárez.
- Alcántara en 2005, en su tesis doctoral: “Deforestación-erosión-inestabilidad de laderas: Un enfoque de modelación geomorfológico”; ubica el estudio al sur del Municipio de Tlatlauquitepec en la Sierra Norte del Estado de Puebla y analiza los procesos erosivos como resultado de la deforestación.
- Alvarado y colaboradores en 2006 con el trabajo “Usos y destinos de los suelos en la región de Cuetzalan, Puebla, México” establecen que los suelos corresponden a condiciones de montaña de carácter intertropical, factor climático favorable en el desarrollo de cultivos templados y tropicales, pero que contribuyen a la erosión del suelo.

- Tenorio en 2008 con su trabajo “Relación de las propiedades fisicoquímicas y calidad de los suelos de Tetelilla, Teziutlán, Puebla” vincula las propiedades fisicoquímicas y la calidad de los suelos, mediante la distinción de calidad dinámica e inherente.
- Tenorio, Valera, Linares, Acevedo & Dixon en 2008, llevan a cabo el estudio denominado “Análisis discriminante lineal en el estudio de la calidad de los suelos de la Sierra Norte de Puebla, México”.
- Castillo en 2012 con la “Medición de la variabilidad espacial y temporal del Secuestro de Carbono en Suelos Forestales de la Sierra Norte de Puebla”, aborda el secuestro de carbono dentro de una zona de la RTP 105.
- En el trabajo de Cruz en 2014 “Identificación de indicadores de la calidad del suelo para el municipio de Xochitlán de Vicente Suárez, Puebla”, se seleccionan indicadores adecuados para el manejo sustentable del recurso suelo dentro de este municipio, debido a los desastres causados por las lluvias en 1999, con lo cual se consideró importante la evaluación del estado de la calidad de sus suelos.
- Torres en 2015 con su tesis doctoral “Utilización de información satelital para el estudio de calidad de suelo y su relación con secuestro de carbono en la RTP 105, Puebla, México” incorpora nuevas metodologías para estudios de Calidad de Suelo y su relación con Secuestro de Carbono.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

III.I Problema de investigación

A nivel mundial la fragmentación de los ecosistemas y la degradación de los suelos forman parte de los principales problemas ambientales, los cuales derivan principalmente del cambio de uso de suelo, la sobreexplotación de los recursos naturales, la contaminación y las desigualdades sociales (PNUMA, 2019).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), reporta que para el año 2000 42% de los bosques mundiales, 18% de las zonas áridas y 17% de los ecosistemas insulares han sido transformados en zonas con fines de uso antropogénico; lo que significa la modificación de la vocación natural de los suelos de estos ecosistemas.

La región de América Latina y el Caribe presenta una gran riqueza edafológica, que a su vez es el soporte de la mayor cantidad de biodiversidad del planeta. Sin embargo, se estima que el 14% de las tierras degradadas del mundo se encuentra en esta región, afectando a 150 millones de personas. En la subregión de Mesoamérica la proporción asciende a un 26% del territorio (Gardi *et al.*, 2014).

México reporta que el 44.9% de sus suelos se encuentran bajo algún proceso de degradación, afectando a ecosistemas naturales y manejados. La superficie sin degradación aparente es de 105.2 millones de hectáreas (SEMARNAT, 2019).

El concepto de degradación hace referencia a la reducción de la calidad del suelo, entendida como la capacidad del suelo para funcionar (K arlen *et al.*, 1997), lo que significa que 85.7 millones de hectáreas de suelo en México ven amenazada la capacidad para llevar a cabo estas funciones.

Las funciones de los suelos están vinculadas al concepto de servicios ecosistémicos, definidos por la FAO (2020) como los múltiples beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad, concepto ligado al bienestar de la humanidad.

La RTP 105 es un área delimitada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad en el año 1996, presenta características físicas y bióticas relevantes desde el punto de vista de riqueza ecosistémica. A pesar de estas particularidades, existe una gran falta de información referente a la región.

En esta zona se han realizado estudios referidos al suelo con especial énfasis en las propiedades y características morfológicas que presenta, el reto es escalar este conocimiento a un enfoque de servicios ecosistémicos que permita distinguir los beneficios (muchas veces ignorados) que proporciona a las personas del lugar.

III.II Delimitación

La precipitada pérdida y modificación de los sistemas naturales en los últimos años en México, hizo que se llevara a cabo el programa de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) para la conservación de la biodiversidad en el año 1996, por parte de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); como producto de este programa se obtuvo un documento que identifica 152 regiones, que cubren una superficie de 515,558 km².

La RTP 105 denominada Cuetzalan (figura 1) con coordenadas externas Latitud N: 19° 46' 23" a 20° 11' 55" Longitud W: 97° 09' 17" a 97° 38' 36", ubicada entre las entidades de Puebla y Veracruz con presencia en los municipios de: Acateno, Altotonga, Atempan, Atlequizayan, Atzalan, Ayotoxco de Guerrero, Caxhuacán, Chignautla, Cuetzalan del Progreso, Hueyapan, Hueytamalco, Huitzilán de Serdán, Jalacingo, Jonotla, Nauzontla, Tenampulco, Tetela de Ocampo, Teteles de Ávila Castillo, Teziutlán, Tlapacoyan, Tlatlauquitepec, Tuzamapan de Galeana, Xiutetelco, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez, Yaonáhuac, Zacapoaxtla y Zoquiapan, con una superficie total de: 1,284 km²; se definió como prioritaria para la conservación por la existencia de bosques mesófilos de montaña, presentes en las cañadas, y de selva alta perennifolia (Arriaga *et al.*, 2000).

Dentro de la zona de estudio residen dos Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA), la denominada *Cuetzalan* en su totalidad, y los *Bosques Montanos de Zacapoaxtla y Zautla* de manera parcial, dónde se reportan avistamientos de especies de aves endémicas, así como especies incluidas en alguna categoría de amenaza en la NOM-059-SEMARNAT-2010, Norma Oficial Mexicana que tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana (Berlanga *et al.*, 2008).

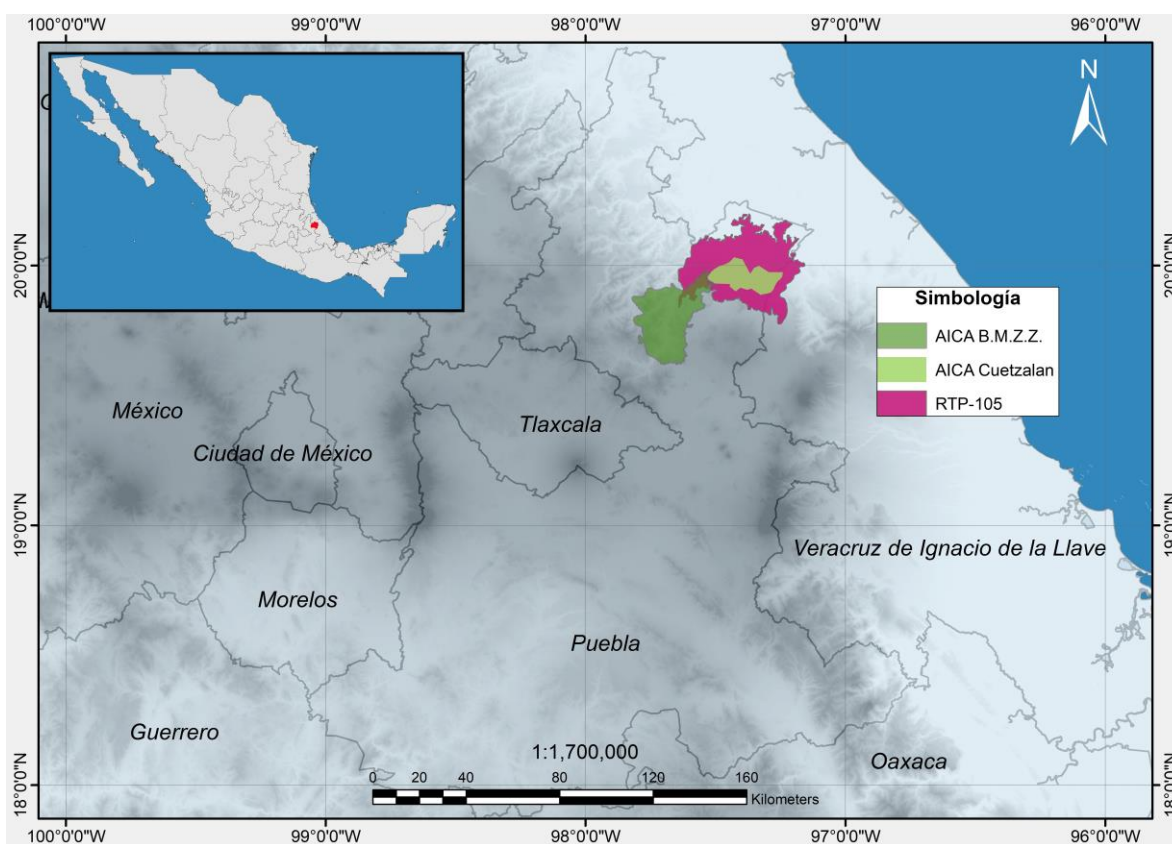


Figura 1. Región Terrestre Prioritaria 105. A partir de datos de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2004.

III.III Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación entre la calidad del suelo y los servicios ecosistémicos que proporciona el recurso edáfico en la Región Terrestre Prioritaria 105?

III.IV Hipótesis y Objetivos

III.IV.I Hipótesis de investigación

La calidad que presenten los suelos en la RTP 105 se puede vincular con los servicios ecosistémicos que el recurso edáfico proporciona.

III.IV.II Objetivo general

Analizar la relación entre la calidad del suelo y los servicios ecosistémicos que proporciona el recurso edáfico en la Región Terrestre Prioritaria 105.

III.IV.III Objetivos específicos

- Caracterizar la Región Terrestre Prioritaria 105.
- Describir la relación entre calidad de suelo y los servicios ecosistémicos en la RTP 105.

III.V Justificación

Pese a ser el sostén de la vida y de las economías agrícolas del mundo, el suelo se encuentra bajo una progresiva presión de deterioro, que deriva primariamente del actual esquema insostenible de producción y consumo global. Su conservación y estudio no son prioridades dentro de las políticas públicas, debido, en gran parte, a que no es un recurso directamente consumible y también al supuesto erróneo de que el suelo puede renovarse en un lapso breve, lo cual está lejos de la realidad (SEMARNAT, 2019).

Se necesita incrementar la concientización sobre el rol crucial del recurso suelo, y justamente por ello es primordial tener al alcance información fiable referente al mismo. Dicho conocimiento constituye la base científica para planificar e implementar en materia de conservación y manejo sostenible de este recurso. La generación de información sobre suelos y su posterior aplicación mediante prácticas sostenibles de manejo, permite construir una conciencia colectiva sobre el papel tan valioso que representa este cuerpo natural para la existencia de la vida en el planeta, entendiendo de esta manera las situaciones sociales que un suelo poco preservado y degradado genera: pobreza, desplazamiento, desigualdad, violencia e injusticia (Gardi *et al.*, 2014).

La calidad de suelo siendo un estado de salud de la pedosfera referida a las necesidades humanas, refiere un reto para la comunidad científica, en México y a nivel mundial (Segura-Castruita *et al.*, 2010); está vinculada con las propiedades y funciones que este compartimento ambiental desempeña y con la capacidad de los suelos de proveer servicios ecosistémicos. Es por esto que la calidad del suelo debe estudiarse para así protegerse o restaurarse y con ello estos servicios y su suministro (Drobnik *et al.*, 2018).

México está falto de una estrategia nacional integral de suelos, en la cual se definan acciones directas y específicas para la conservación y el mantenimiento de sus funciones. A pesar de que el actual Programa Nacional Forestal cuenta con un componente orientado a la Restauración Forestal y Reconversión Productiva, este

tiene por objetivo recuperar la capacidad y el potencial natural de los suelos forestales y de la cobertura forestal bajo condiciones de deterioro, sin embargo, las acciones están enfocadas a la protección o ampliación de la vegetación más que a la protección del suelo (SEMARNAT, 2019).

Las Regiones Terrestres Prioritarias de conservación devienen de un esfuerzo realizado en México a partir de 1996 para fortalecer los esfuerzos de conservación de regiones con alta biodiversidad, fueron delimitadas gracias al trabajo conjunto del Instituto de Ecología, la CONABIO, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), la Agencia Internacional para el desarrollo de la Embajada de USA y The Nature Conservancy Agency. Pese a ello, la RTP 105 (Cuetzalan), no cuenta con información suficiente (Arriaga *et al.*, 2000), por ello se considera que este trabajo contribuye al acervo y actualización de la información de esta región.

La calidad de suelo y la sostenibilidad están profundamente asociadas con la salud de las poblaciones (Bünemann *et al.*, 2018), por lo que es evidente que debe existir un entendimiento y manejo respetuoso de este recurso natural por parte de los pobladores y tomadores de decisiones, no sólo para preservar los servicios ecosistémicos (Burbano, 2016) sino también para evadir consecuencias sociales adversas, teniendo en cuenta que hay una desconexión entre el conocimiento que se tiene de los suelos y la sociedad en general (Zúñiga *et al.*, 2018).

El trabajo aporta información ligada a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, enmarcada en cuatro Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015):

- Objetivo 3: Salud y bienestar
- Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento
- Objetivo 13: Acción por el clima
- Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres

IV. MARCO TEÓRICO

IV.I Calidad de Suelo

El suelo se puede definir como un cuerpo natural que consiste en horizontes compuestos de materiales meteorizados, materia orgánica, aire y agua, es el producto de la influencia del tiempo, el clima, la topografía, los organismos (flora y fauna) con materiales parentales (rocas y minerales originarios); como resultado de estos procesos, el suelo difiere del material parental en su textura, estructura, consistencia y demás propiedades físicas, químicas y biológicas (FAO, 2020a); se considera un cuerpo natural finito, propenso a la degradación por factores naturales y antropogénicos (frágil), no renovable en la escala de tiempo humana (Lal, 2015) y además en constante evolución (IUSS Working Group WRB, 2015).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2018) y la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2018) establecen la definición legal de este concepto en la República Mexicana, y expresan que el suelo es un cuerpo natural que ocurre sobre la superficie de la corteza terrestre, compuesto de material mineral y orgánico, líquidos y gases, que presenta horizontes o capas y que es capaz de soportar vida.

La contribución específica de las propiedades del suelo tienen un efecto sustancial sobre sus funciones (Baveye *et al.*, 2016). El concepto de funciones del suelo se refiere a las tareas que un suelo cumple dentro de un ecosistema (Drobnik *et al.*, 2018), y Bünemann (2018) habla de las siguientes:

- Provisión de hábitats
- Ciclaje de elementos
- Descomposición
- Mantenimiento de la estructura del suelo
- Regulación biológica
- Ciclaje del agua

- Ciclaje de la materia orgánica

El concepto de funciones del suelo se relaciona con el concepto de servicios ecosistémicos y es posible articularlos (figura 2) (Bünemann *et al.*, 2018):

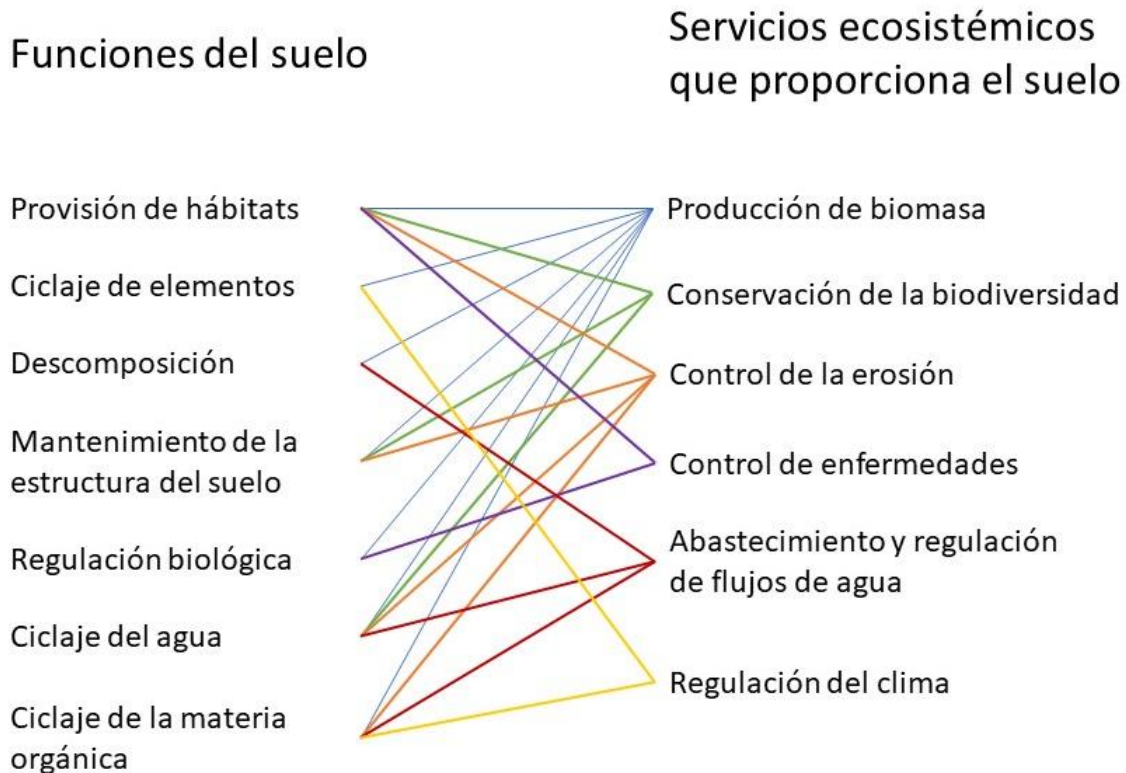


Figura 2. Relaciones entre las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos que proporciona, modificado de Bünemann *et al.*, 2018.

Para describir la capacidad que un suelo tiene de realizar las funciones previamente mencionadas, se utiliza el término de calidad de suelo (Shreeja, 2018). El concepto de calidad del suelo, al relacionarse con las funciones de este compartimiento ambiental, está involucrado a su vez con los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo (Bone *et al.*, 2010). La calidad que este cuerpo natural presente es de vital importancia para todos los organismos y para el correcto funcionamiento de los ecosistemas (Paz-Kagan *et al.*, 2014).

Las personas reconocen desde la antigüedad que se requiere de un suelo con ciertas particularidades para poder satisfacer sus necesidades (Vidal-Legaz *et al.*, 2017), Platón señaló hace más de 2500 años el riesgo de la degradación del suelo: *"Lo que ahora queda de la antigua tierra rica es como el esqueleto de un hombre enfermo, con toda la fertilidad desperdiciada y solo quedando el armazón desnudo"*, reconociendo que si la calidad del suelo disminuía el sistema entero era incapaz de funcionar y por lo tanto de sustentar la vida humana (Karlen *et al.*, 2019).

Forman (1951) hace más de medio siglo, aseveraba que hay una relación entre el suelo y la calidad y cantidad de alimentos que produce, asegurando que, según sus observaciones, los suelos poco fértiles restringían su producción a ciertos tipos de cultivos y muchas veces la calidad de éstos se veía afectada, al igual que la salud de los animales que se alimentaban de ellos, al final de la cadena alimenticia la salud humana también se perjudicaba al consumir estas variedades de alimentos (Tenorio, 2008).

Existen múltiples definiciones del término calidad de suelo en la literatura (Bünemann *et al.*, 2018) (tabla 1), además de ser un concepto en constante evolución de acuerdo con las necesidades de investigación, uso y manejo del recurso suelo a lo largo del tiempo.

El concepto de calidad de suelo que mejor se adapta al trabajo es el de: capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de los ecosistemas naturales o gestionados, para mantener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y ser el soporte de la salud y la vivienda humana (Karlen *et al.*, 1997), como los propios autores expresan de forma indirecta, el suelo se ve como un sistema complejo y con múltiples interacciones, además de mencionar varios servicios ecosistémicos que este recurso proporciona.

Tabla 1. *Conceptos de calidad de suelo, modificado de Bone et al.,2010 y Bünemann et al., 2018.*

DEFINICIÓN DE CALIDAD DE SUELO	AÑO	AUTOR
Capacidad de los suelos para producir maíz, soja y trigo en condiciones de manejo de alto nivel, la elección de estos cultivos para reflejar la calidad del suelo en Illinois se debe a su abrumador dominio económico agrícola.	1971	Mausel
Atributo complejo de la tierra que actúa de manera distinta en su influencia en la idoneidad de la tierra para un tipo específico de uso.	1976	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
La capacidad sostenida de un suelo para aceptar, almacenar y reciclar agua, nutrientes y energía.	1984	Anderson & Gregorich
El estado de existencia del suelo en relación con un estándar, o en términos de un grado de excelencia.	1991	Larson & Pierce
La capacidad de un suelo para funcionar, dentro de los límites del ecosistema y el uso de la tierra, para mantener la productividad, mantener la calidad ambiental y promover la salud de las plantas y los animales.	1994	Doran & Parkin
Capacidad del suelo para desempeñarse o funcionar de acuerdo con su potencial, y cambia con el tiempo debido al uso y manejo humano o a eventos inusuales.	1995	Mausbach & Tugel
La capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de los ecosistemas naturales o gestionados, para mantener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y ser el soporte de la salud y la vivienda humana.	1997	Karlen <i>et al.</i>
Abarcando un conjunto indefinido (abierto) de atributos tangibles o disposicionales del suelo. estos atributos pueden ser sustituidos o complementados por otros atributos sin necesidad de cambiar el término. Por lo tanto, es un recipiente que contiene lo que se le asigna. los atributos asignados al término diferirán entre el suelo y las diversas demandas, porque el término está influenciado por juicios de valor.	2000	Patzel <i>et al.</i>

La calidad del suelo está relacionada con otros cuerpos naturales, y con los sistemas biológicos que soporta, las interconexiones entre ellos pueden ser directas o indirectas.	2010	Bone <i>et al.</i>
Concepto ligado con la capacidad que tiene el suelo para proporcionar servicios ecosistémicos y con el mantenimiento de las funciones globales de los ecosistemas.	2017	Vidal-Legaz <i>et al.</i>
El índice de calidad de suelo puede verse como un indicador primario de sostenibilidad manejo forestal.	2020	Shao <i>et al.</i>

IV.I.I Calidad del Suelo y Salud del Suelo

El concepto de salud de suelo es consistente con la comprensión de los suelos como un sistema dinámico, complejo y vivo (Fine *et al.*, 2017). Los agricultores y propietarios de terrenos prefieren utilizar el término salud del suelo en vez de calidad de suelo, y lo caracterizan basándose en descripciones y propiedades cualitativas, usando directamente el juicio de saludable o no saludable, representándolo como un sistema vivo. Por otro lado, los científicos prefieren utilizar el término calidad de suelo, dando un enfoque analítico en las propiedades cuantitativas y su relación entre éstas y sus funciones (Harris & Bezdicek, 1994).

En los últimos años el término salud del suelo ha conseguido un enfoque más amplio, con una audiencia más amplia, a diferencia de hace unos años al ser utilizado sólo en términos de producción, ya que la condición de los suelos se vincula con la calidad ambiental, la salud humana y con asuntos políticos (Haney *et al.*, 2018), estos aspectos determinan conjuntamente la salud vegetal, animal y humana (Laishram *et al.*, 2012).

Actualmente las discusiones referentes a políticas alimentarias se centran cada vez más en el concepto de calidad o salud del suelo como una medida integral de la productividad, resistencia y sostenibilidad del uso del suelo (Stevens, 2018).

Por lo que un artículo de revisión reciente discutió las diferencias reales entre los términos ampliamente utilizados de "calidad del suelo" y "salud del suelo", concluyendo que estos términos se consideran equivalentes y, por lo tanto, pueden usarse indistintamente (Bünemann *et al.*, 2018).

IV.I.II Evaluación de la calidad de suelo

La calidad del suelo no puede medirse directamente, pero las propiedades del suelo que son sensibles a los cambios bajo las influencias ambientales y/o antropogénicas pueden usarse como indicadores de su calidad (figura 3). Estos parámetros pueden ser variables cualitativas o cuantitativas. Por lo que se utilizan para desarrollar índices, que están compuestos por la relación entre los diferentes indicadores del suelo (Rangel-Peraza *et al.*, 2017).

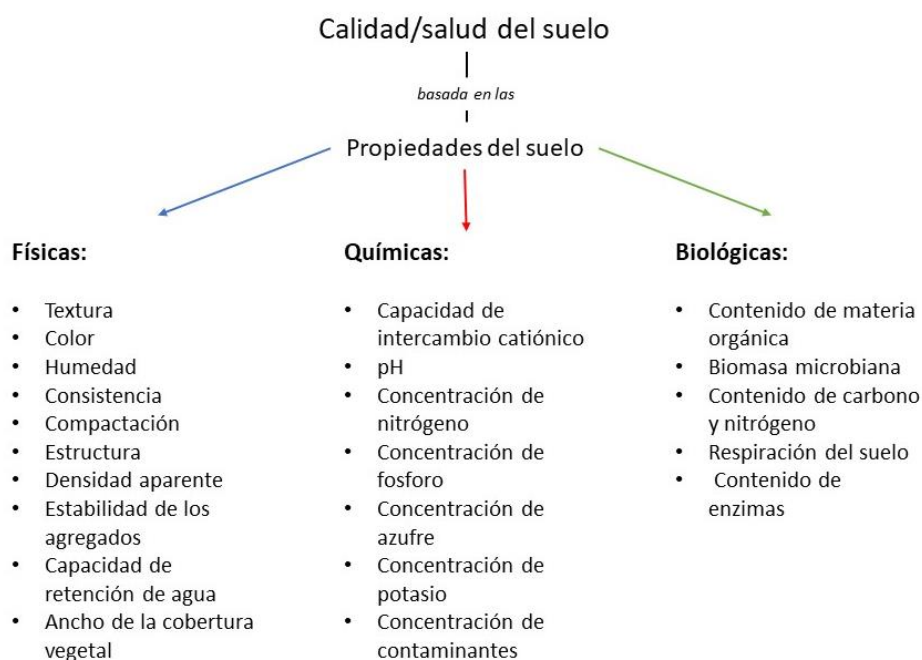


Figura 3. La calidad/salud del suelo y su relación con las propiedades del suelo, adaptado de Stevens, 2018.

La calidad inherente del suelo (innata) se basa en el material original y es relativamente estacionaria, la calidad dinámica del suelo (modificada) cambia en respuesta al uso y manejo humano (Yao *et al.*, 2013).

En la actualidad no hay acuerdo o metodología establecida para la selección de indicadores de calidad del suelo, sin embargo, la estrategia más prometedora es identificar un número finito de indicadores que capturen las características más destacadas de la calidad del suelo. La decisión de qué indicadores particulares incluir varía según la aplicación, reflejando tanto el contexto relevante como la disponibilidad de datos (Stevens, 2018).

Existen muchos marcos de referencia para la evaluación de la calidad del suelo, con diversas formas de indicadores. Todos ellos comparten el objetivo de proporcionar una descripción completa de la calidad del suelo y además sirven para monitorear y evaluar los ecosistemas (figura 4). Los indicadores de calidad del suelo están conectados a las funciones del ecosistema (Muñoz-Rojas, 2018).

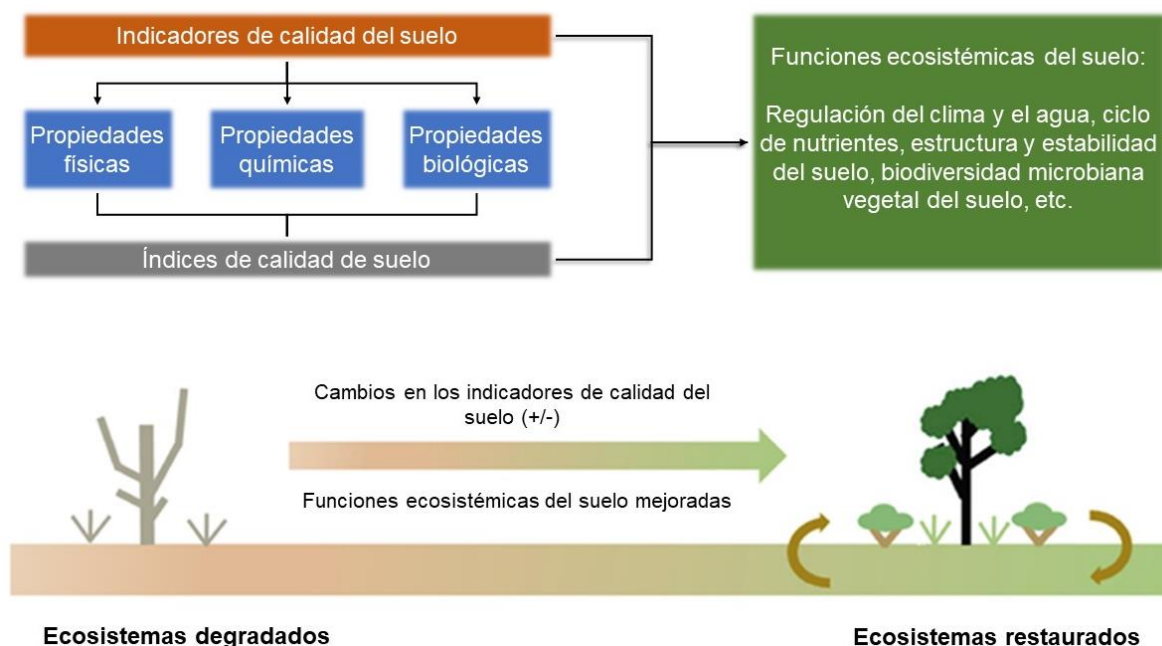


Figura 4. Relaciones entre índices de calidad del suelo y funciones ecosistémicas, modificado de Muñoz-Rojas, 2018.

IV.II Suelo en México

Las ciencias del suelo no poseen un sistema de clasificación de tipos de suelo universalmente aceptado, esta situación complica la comparación internacional, ya que por lo general no hay una equivalencia entre sistemas clasificatorios (*Gardi et al.*, 2014). Los dos sistemas más reconocidos son el de Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy) del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El sistema de clasificación edáfica utilizado oficialmente en México por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es el de la WRB adaptado a las condiciones ambientales nacionales, reportado desde la primera versión de las cartas edafológicas del INEGI (SEMARNAT, 2016).

Dentro de la clasificación más actualizada de la WRB en el 2014, se incluyen 32 grupos de suelos de referencia, la clasificación se basa en las diferencias que existen en las características diagnósticas (horizontes, propiedades físicas, químicas y biológicas) y la relación con factores formadores (material parental, clima, topografía, biota y tiempo) (IUSS Working Group WRB, 2015).

El INEGI reporta la presencia en México de 25 de los 32 grupos de suelo de referencia denominados unidades de suelo, que aparecen en la clasificación WRB (figura 5). Esta riqueza edáfica se puede explicar por las múltiples combinaciones de los factores que forman el suelo y que se presentan en el territorio nacional (SEMARNAT, 2019).

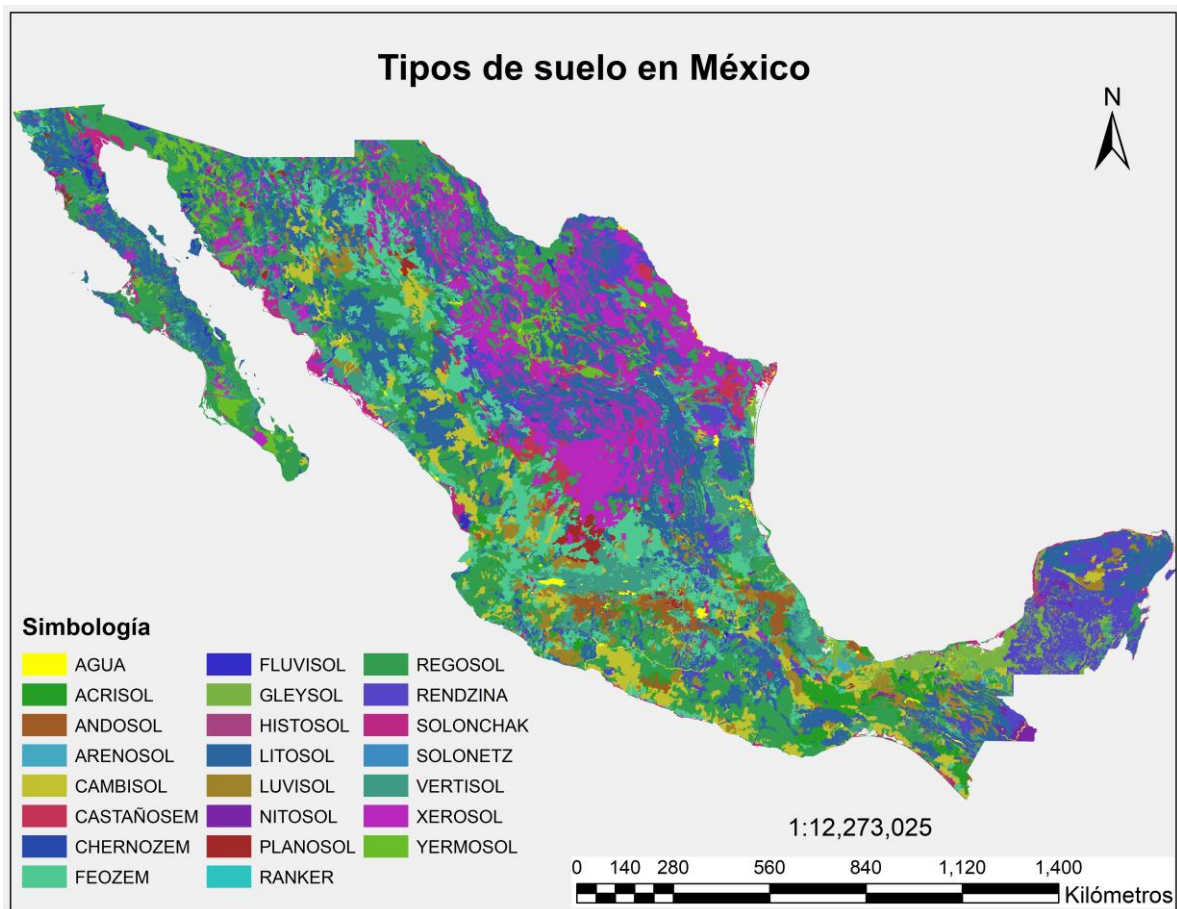


Figura 5. Mapa de tipos de suelo en México. Adaptado de Conjunto de datos vectoriales edafológicos, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional), 2014.

La reducción de la calidad del suelo se conoce como degradación del suelo. La erosión hídrica, la erosión eólica, la degradación química (incluyendo el agotamiento de los elementos nutritivos, la pérdida de la materia orgánica, el ensalitramiento, la acidificación y la contaminación química), y el deterioro de las propiedades físicas son los cuatro principales tipos de degradación del suelo (Moreno-Reséndez *et al.*, 2015).

La degradación del suelo puede ser de origen natural y antropogénico, y es el resultado de una compleja interacción de factores naturales, como el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima con factores socioeconómicos como la densidad

poblacional, tenencia de la tierra, las políticas ambientales y los usos y gestión del suelo (Gardi *et al.*, 2014).

Una de las consecuencias más importantes de la degradación de los suelos es la pérdida y el deterioro de la calidad de los servicios ecosistémicos que se obtienen de este cuerpo natural (SEMARNAT, 2019).

En el año 2003 se publicaron los resultados de la Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000, el cual es hasta hoy el estudio de degradación de mayor resolución que se ha hecho para México (figura 6). En este estudio se reconoce que la calidad del suelo en el país está afectada por las actividades antropogénicas, principalmente las asociadas al cambio del uso del suelo provocadas por las prácticas agrícolas mecanizadas, al sobrepastoreo y al desarrollo urbano e industrial (SEMARNAT-CP, 2003).

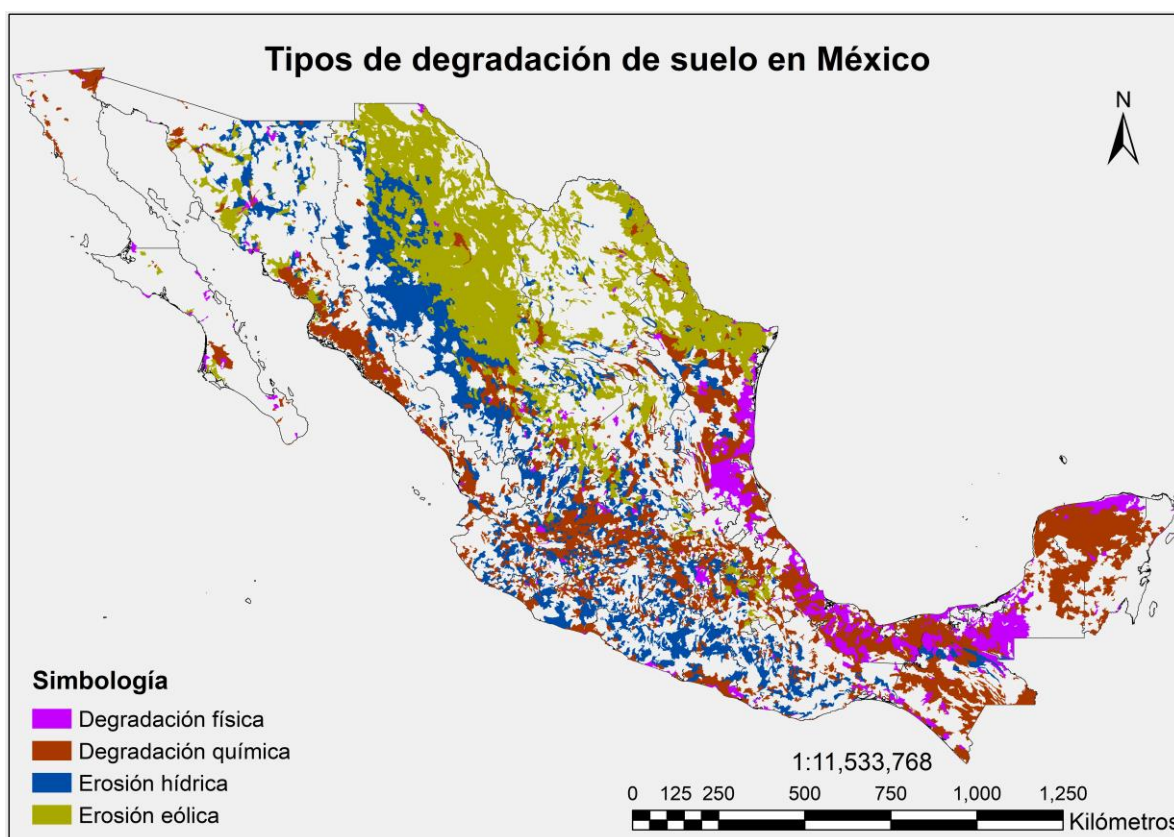


Figura 6. Mapa de tipos de degradación del suelo en México, escala 1:250 000. Adaptado de Memoria Nacional 2001-2002. SEMARNAT y CP. México, 2003.

En la Región Terrestre Prioritaria 105 predominan los suelos de tipo volcánico, a pesar de que la información al respecto es escasa, se sabe que la calidad de estos ha ido decreciendo dado el aprovechamiento de los recursos naturales que se realiza en esta región, principalmente relacionado con actividades forestales, agrícolas o pecuarias y, generalmente, estas actividades están asociadas a la deforestación, degradación o transformación del ecosistema (Tenorio, 2008).

IV.III Servicios ecosistémicos

Durante décadas los científicos alrededor del mundo discutieron sobre el concepto de servicios del ecosistema o servicios de la naturaleza, en el año 2005 el término fue formalizado con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA), una evaluación científica de los servicios de los ecosistemas de los que depende el bienestar humano. El proyecto fue comenzó en 2001 y tuvo la participación de más de 1 300 expertos de múltiples disciplinas, procedentes de más de 100 países (UNESCO, 2010).

Los conceptos y enfoques que impulsan la innovación y la comprensión en este campo son diversos y necesarios. Diferentes organizaciones y autores alrededor del mundo han proporcionado definiciones para el concepto de servicios ecosistémicos, las cuales enfatizan las complejas relaciones de la humanidad con la naturaleza (Potschin *et al.*, 2016).

La FAO (2020) define los servicios ecosistémicos como la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad.

Se han creado varios marcos de clasificación para los servicios ecosistémicos, los más utilizados son los desarrollados por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), el proyecto sobre La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB, 2020), la Clasificación Internacional

Común de Servicios Ecosistémicos (Haines-Young & Potschin, 2018) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020b).

La FAO, hace una clasificación de los servicios ecosistémicos de la siguiente forma:

1. De abastecimiento o provisión: son los beneficios materiales que las personas obtienen de los ecosistemas; se trata de bienes tangibles, también llamados recursos naturales o bienes. Estos servicios proporcionan el sostén de la vida humana; los esfuerzos por asegurar su provisión guían las actividades productivas y económicas.
 - Alimentos: casi todos los ecosistemas proporcionan las condiciones necesarias para el cultivo, la recolección, la caza o la cosecha de alimentos.
 - Materias primas: los ecosistemas proporcionan una gran diversidad de materiales, como la madera, los biocombustibles y las fibras de especies vegetales y animales, cultivadas o silvestres.
 - Agua dulce: los ecosistemas desempeñan un papel primordial en el suministro y almacenamiento de agua dulce.
 - Recursos medicinales: los ecosistemas proporcionan una variedad de organismos que ofrecen remedios eficaces para diversos tipos de problemas de salud, los cuales son empleados en remedios tradicionales y en la elaboración de productos farmacéuticos.
2. De regulación: los ecosistemas proveen estos servicios al actuar como reguladores, a menudo dichos servicios no son perceptibles y por consiguiente se dan por sentados. Si se ven perjudicados, las pérdidas resultantes son considerables y difíciles de resarcir.

- Clima local y calidad del aire: los ecosistemas tienen injerencia en el clima local y la calidad del aire. Como ejemplo, los árboles dan sombra, los bosques influyen en las precipitaciones y en la disponibilidad de agua, a escala local y regional. La vegetación tiene un importante papel en la regulación de la calidad del aire al eliminar contaminantes de la atmósfera.
- Secuestro y almacenamiento de carbono: los ecosistemas regulan la disposición de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, cuando los árboles y plantas crecen eliminan dióxido de carbono de la atmósfera y lo retienen eficazmente en sus tejidos.
- Moderación de fenómenos extremos: los ecosistemas y los organismos son amortiguadores de catástrofes naturales. Un ecosistema sano tiene la capacidad de reducir los daños causados por inundaciones, tormentas, tsunamis, avalanchas, desprendimientos de tierras y sequías.
- Tratamiento de aguas residuales: ciertos ecosistemas pueden filtrar efluentes, descomponer residuos mediante la actividad biológica de microorganismos y eliminar agentes patógenos nocivos.
- Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo: la cubierta vegetal previene la erosión del suelo y garantiza su fertilidad mediante procesos biológicos como la fijación del nitrógeno. La erosión del suelo es parte del proceso de degradación de la tierra y desertificación, de este modo también disminuye la productividad pesquera en los cursos inferiores de los ríos.
- Polinización: los insectos y el viento polinizan las plantas y los árboles, lo cual es fundamental para el desarrollo de frutas, hortalizas y semillas. Este servicio ecosistémico es proporcionado principalmente por insectos, pero también por algunas aves y murciélagos.
- Control biológico de plagas: se refiere a las actividades de depredadores y parásitos en los ecosistemas que sirven para controlar las poblaciones de posibles vectores de plagas y enfermedades.

- Regulación de los flujos de agua: es un servicio vital proporcionado por la cobertura y la configuración del suelo, su dinámica es poco entendida por la mayoría de aquellos que formulan políticas públicas y por las organizaciones dedicadas al ordenamiento territorial.
3. De apoyo o soporte: son aquellos que se necesitan para la producción de los demás servicios ecosistémicos.
- Hábitat para especies: los ecosistemas proporcionan espacios para el desarrollo de plantas y animales, conservando así los complejos procesos que mantienen a los otros servicios ecosistémicos. Algunos hábitats cuentan con un número excepcionalmente elevado de especies que los hace más diversos que otros desde el punto de vista genético y son conocidos como “focos de biodiversidad”.
 - Conservación de la diversidad genética: la diversidad genética (la variedad de genes entre poblaciones de especies y dentro de ellas) suministra la base para cultivos adaptados a las condiciones locales y un acervo génico para el desarrollo de cultivos y ganado comerciales.
4. Culturales: son los beneficios inmateriales que las personas obtienen de los ecosistemas, comprenden la inspiración estética, la identidad cultural, el sentimiento de apego y la experiencia espiritual relacionada con el entorno natural. Los servicios culturales se encuentran interconectados con los servicios de abastecimiento y de regulación; por ejemplo, la pesca en pequeña escala no solo abarca el alimento y las ganancias, también se relaciona con el modo de vida de los pescadores.
- Actividades de recreo y salud mental y física: la recreación basada en la naturaleza desempeña un papel importante en la conservación de la salud física y mental.

- Turismo: disfrutar de la naturaleza atrae mundialmente a millones de viajeros. Este servicio abarca los beneficios para los visitantes y la oportunidad de generar ingresos para los proveedores de servicios de turismo natural.
- Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño: los animales, las plantas y los ecosistemas son fuente de inspiración de gran parte del arte, la cultura y el diseño y también para la ciencia.
- Experiencia espiritual y sentimiento de pertenencia: la naturaleza es un elemento común en la mayoría de las principales religiones. El patrimonio natural, el sentimiento espiritual de pertenencia, el conocimiento tradicional y las costumbres conexas son importantes para crear un sentido de pertenencia.

El enfoque de servicios ecosistémicos hace visible la relación entre las personas y la naturaleza, revelando un sistema complejo y dinámico, para tomar decisiones políticas y de planificación (Evans, 2019).

IV.III.I Servicios ecosistémicos que proporciona el suelo

El suelo se forma en la intersección de la litósfera, la biósfera, la atmósfera y la hidrósfera, es el regulador de la mayoría de los procesos naturales, hogar de una gran proporción de la biodiversidad del planeta y la base física para el desarrollo de las actividades de las personas (Pereira *et al.*, 2018).

Los suelos son un elemento clave para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2014) y contribuyen de manera sustancial a la provisión de servicios ecosistémicos, indispensables para el bienestar humano (SEMARNAT, 2016)

Los estudios enfocados en los servicios proporcionados por los suelos comenzaron hace aproximadamente cincuenta años. Sin embargo, después de 2005 al llevarse a cabo la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, el interés en las contribuciones de los suelos a los servicios ecosistémicos aumentó (Brevik *et al.*, 2018).

El concepto de servicio ecosistémico está ligado al de capital natural, haciendo referencia a la existencia de activos naturales, como el suelo, que producen un flujo de servicios valiosos para el bienestar de la humanidad (Zúñiga *et al.*, 2018).

Dominati y colaboradores en 2010 elaboraron un marco holístico para entender las funciones y servicios ecosistémicos que el capital natural suelo provee a la sociedad (figura 7). Este marco se compone de:

- i) el suelo y sus propiedades (inherentes y dinámicas);
- ii) los procesos involucrados en su formación, degradación y mantención;
- iii) los impulsores externos (naturales y antrópicos);
- iv) los servicios ecosistémicos culturales, de regulación, provisión, soporte y
- v) el bienestar humano.

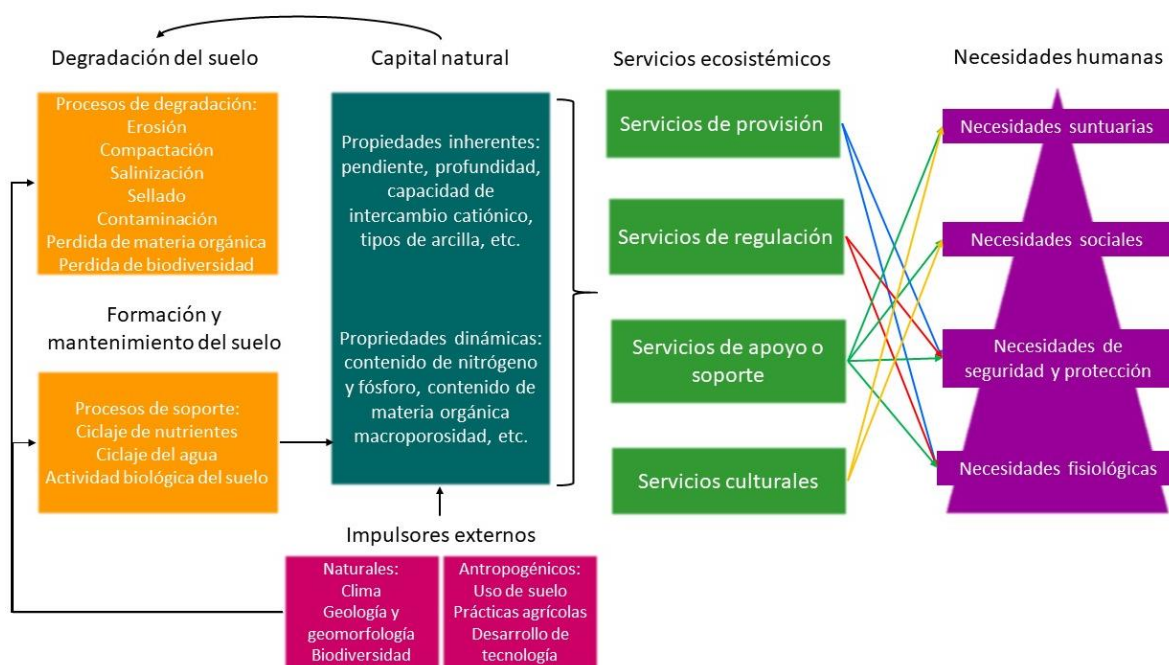


Figura 7. Flujo de servicios ecosistémicos a la sociedad, adaptado de Dominati *et al.*, 2010.

De acuerdo con Informe de la Situación del Medio Ambiente en México en su edición 2012, los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo se pueden describir de la siguiente manera:

- Servicios de abastecimiento o provisión: obtenidos del suelo de forma indirecta, se encuentran relacionados con la producción de biomasa vegetal (alimentos) para el consumo de las personas y los animales o bien para la producción de combustibles y textiles. El suelo alberga organismos que son fuente de genes utilizados en el desarrollo biotecnológico, en el control de los patógenos o para promover el crecimiento vegetal. Además, en el suelo se encuentran materiales de construcción como arenas, gravas y arcillas, así como piedras y metales preciosos.
- Servicios de regulación: el suelo tiene la capacidad de filtrar, desactivar o retener compuestos potencialmente tóxicos capaces de llegar a los mantos acuíferos o afectar las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos; la actividad microbiana y las interacciones químicas entre la arcilla y la materia orgánica ayudan a degradar o desactivar estos compuestos. Interviene en la regulación climática por medio de su papel en el ciclo hidrológico, y por su capacidad de absorber y posteriormente emitir calor. Es el sustrato donde las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico que después es utilizado por las plantas, y es uno de los principales reservorios de carbono, los suelos contienen mucho más carbono que el que se encuentra en la vegetación, esta captura reduce su liberación a la atmósfera como CO₂, el cual es uno de los principales gases de efecto invernadero.
- Servicios de apoyo o soporte: el suelo proporciona una gran variedad de microambientes para las bacterias, protozoarios, artrópodos y nemátodos que están involucrados en el reciclaje de la materia orgánica y en la continuidad de los principales ciclos biogeoquímicos; además de ser la base física para el desarrollo de la biodiversidad terrestre (SEMARNAT, 2013).

Los servicios culturales proporcionados por los suelos, aunque poco estudiados, tienen gran significancia. Al formar parte de los paisajes que sostienen, muchas culturas los valoran por su estética, como parte de su enriquecimiento espiritual y

recreación. Múltiples deidades y creencias religiosas se refieren específicamente al suelo y su carácter sagrado (Dominati et al., 2010).

De este modo se observa como las funciones del suelo, los servicios ecosistémicos y los objetivos de desarrollo sostenible están intrínsecamente relacionados (figura 8) (Pereira et al., 2018).

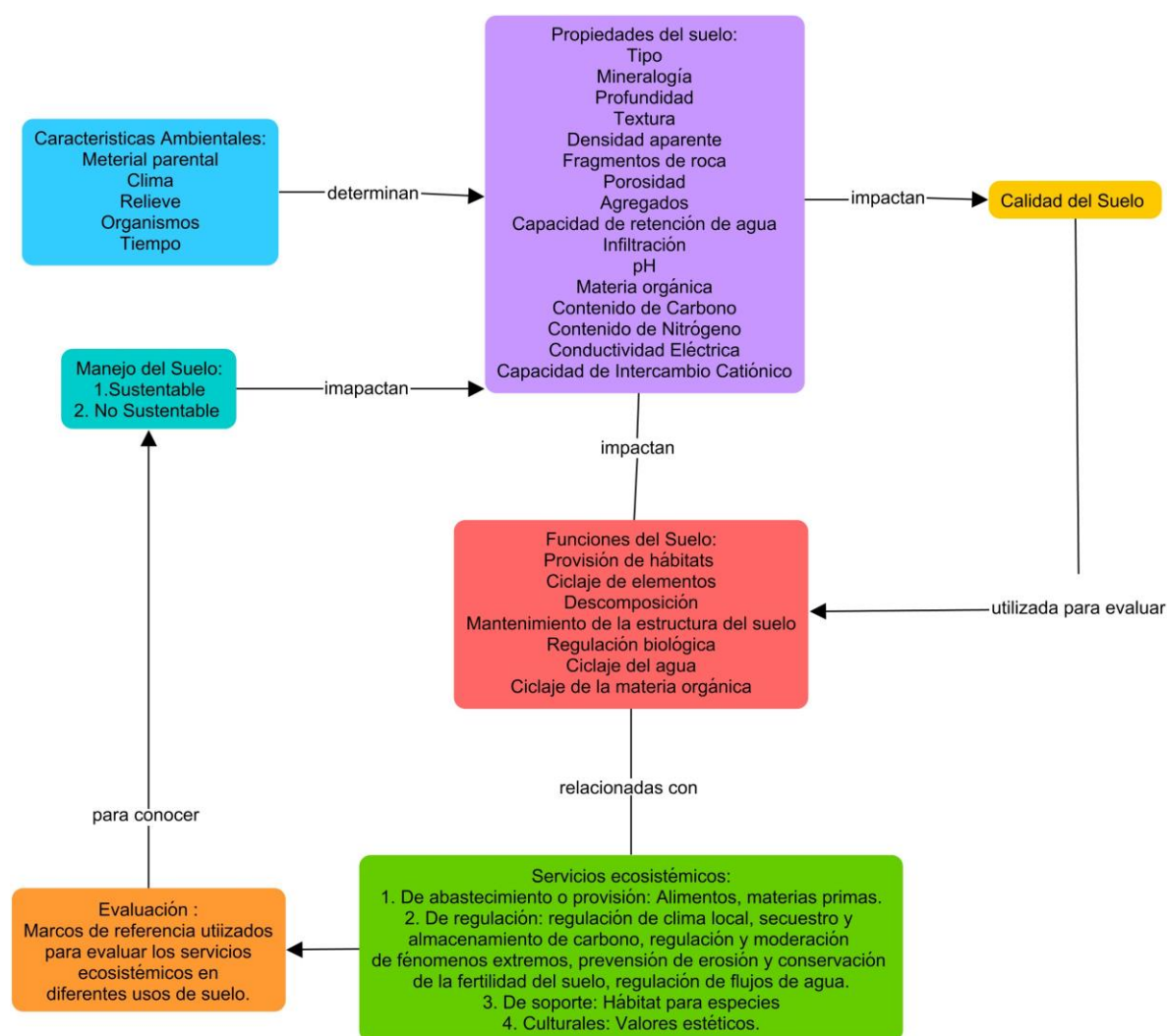


Figura 8. Relaciones entre suelo y servicios ecosistémicos. Adaptado de Pereira et al., 2018.

V. METODOLOGÍA

El tipo de investigación del presente trabajo es documental, de carácter analítico y observacional. La metodología que se emplea en este proyecto para dar respuesta al objetivo general se encuentra dividida en dos etapas:

V.I Etapa 1: Recopilación de información bibliográfica y trabajo cartográfico

En esta fase, se realiza la recopilación e interpretación de la información básica existente del área de estudio, de esta forma se describe la Región Terrstre Prioritaria de Conservación 105 y de igual forma se identificaron los patrones de distribución de calidad de suelo en la zona. Se recopiló información sobre: uso del suelo, topografía, clima, geología y geomorfología, vegetación, hidrología, suelos, mapas e imágenes de satélite. Información que se obtuvo de INEGI, CONABIO y demás instituciones gubernamentales, bases de datos existentes, así como trabajos previos realizados en la zona de estudio. A considerar:

INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica, escala 1:1 000 000, serie I.

INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, escala 1:250 000, serie I.

INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Geológica, escala 1:250 000, serie I.

INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas, escala 1:1 000 000, serie I.

INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1:250 000, serie II.

INEGI. Continuo Nacional de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie VI.

CONABIO. Catálogo de metadatos geográficos. Regionalización del bosque mesófilo de montaña.

Sistema Nacional de Información del Agua. Servicio de Mapas Web de Información Geográfica. Regiones Hidrológicas.

Servicio Geológico Mexicano. GeoInfoMex. Litología, escala 1:250,000.

INEGI. Cartas de información temática (Topográfica, Edafológica, Geológica, Climas, Uso de Suelo y Vegetación) de las cartas E14-3 y F14-12, escala 1:250,000, 2006, utilizadas para situar los puntos de muestreo y extraer información edafológica.

V.II Etapa 2: Estructura y análisis de la información

Revisión y actualización de la información existente mediante la elaboración de nuevas bases de datos, para facilitar el manejo de información cartográfica y fuentes recopiladas se utiliza el Sistema de Información Geográfico ArcGIS 10.3.

Para describir la relación de la información referente a calidad de suelo con el concepto de servicios ecosistémicos edafológicos, se utiliza el programa R-Commander, y se propuso lo siguiente: a) Crear un indicador de servicios ecosistémicos que proporcione el suelo basado en la calidad de estos. Y b) Relacionar dicho indicador con las variables observadas en los suelos de la RTP 105, utilizando un modelo estadístico.

VI. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio del trabajo es la denominada RTP 105 (Cuetzalan). Arriaga y colaboradores (2000) definen a la Región Terrestre Prioritaria como el área continental cuyas características físicas y biológicas la hacen particularmente importante desde el punto de vista de la biodiversidad (Anexo 1); son regiones que tienen calidad de prioritarias para preservar la biodiversidad bajo esquemas particulares de conservación o de desarrollo sustentable.

En la RTP 105 el estado del conocimiento referente a las características particulares del lugar es pobre, ya que hay escasos trabajos publicados referentes a esta. No existen zonas puntualmente designadas a la protección, a pesar de tener grupos conservacionistas locales participando activamente en el cuidado de su entorno, lo cual no es alentador para poder llevar a cabo planes de restauración, aun teniendo el potencial de recuperación explícitamente expreso por parte de los autores que definieron esta área como prioritaria para la conservación (Anexo 2).

El aprovechamiento de los recursos naturales que se realiza en el territorio se relaciona con actividades forestales, agrícolas o pecuarias, estas actividades están asociadas a la deforestación, degradación o transformación de los ecosistemas naturales.

Una de las principales amenazas de la biodiversidad en la RTP 105 deriva de actividades agropecuarias, puesto que estas suelen inducir cambios de uso de suelo, al desarrollar actividades de roza, tumba y quema, que además favorecen incendios forestales.

Otra situación alarmante son las actividades mineras, tanto legales como clandestinas, que operan dentro del lugar, ya que tienen impactos profundos en la región de estudio, por lo que su operación se vuelve una situación que, de no tener medidas de mitigación, puede llevar a la pérdida de importantes características de los compartimientos ambientales que permiten el adecuado funcionamiento de los ecosistemas.

Un dato adicional referente a las prácticas de manejo inadecuado en la región, hace referencia al excesivo turismo en la zona con un enfoque poco sustentable, esta situación repercute desfavorablemente en la conservación del lugar (Arriaga *et al.*, 2000).

Como dato adicional la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, reporta que dentro de la RTP 105 están inmersas dos AICA, la primera denominada C-47 (Cuetzalan), que tiene presencia en los municipios de Cuetzalan del Progreso, Tlatlauquitepec, Yaonáhuac, Ayotoxco de Guerrero, Hueyapan, Teziutlán, y una pequeña parte del municipio de Tlapacoyan; la segunda cuyo nombre es Bosques Montanos de Zacapoaxtla y Zautla considera los municipios de Zacapoaxtla, Xochiapulco, Tlatlauquitepec, Nauzontla y una parte del municipio de Cuetzalan del Progreso. Estas áreas se sitúan dentro de la Sierra Norte del estado de Puebla, que está formada por cadenas montañosas, cañadas, valles y tierras bajas, esta variedad de relieves combinados con características ambientales particulares, permiten la existencia de tipos de vegetación muy variados (Berlanga *et al.*, 2008).

Con estas áreas se reconoce la gran riqueza avifaunística de la región, dado que se tienen registro de avistamientos de 276 especies de aves, de las cuales 61 se consideran bajo alguna categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994.

VI.I Vegetación y uso de suelo

Arriaga y colaboradores (2000) exponen que hay un nivel de fragmentación muy grande y grandes extensiones perturbadas de la vegetación original de la zona. La vegetación se encuentra afectada principalmente por la ganadería extensiva, la deforestación, las plantaciones extensivas de árboles frutales y el excesivo turismo.

De acuerdo con el Continuo Nacional de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie VI; existe en el sureste de la RTP un manchón significativo de bosque mesófilo de montaña y en la zona norte del área se encuentra vegetación secundaria de la selva alta perennifolia, este tipo de ecosistemas fueron los criterios primordiales para definir a la región como prioritaria para la conservación de la biodiversidad (figura 9).

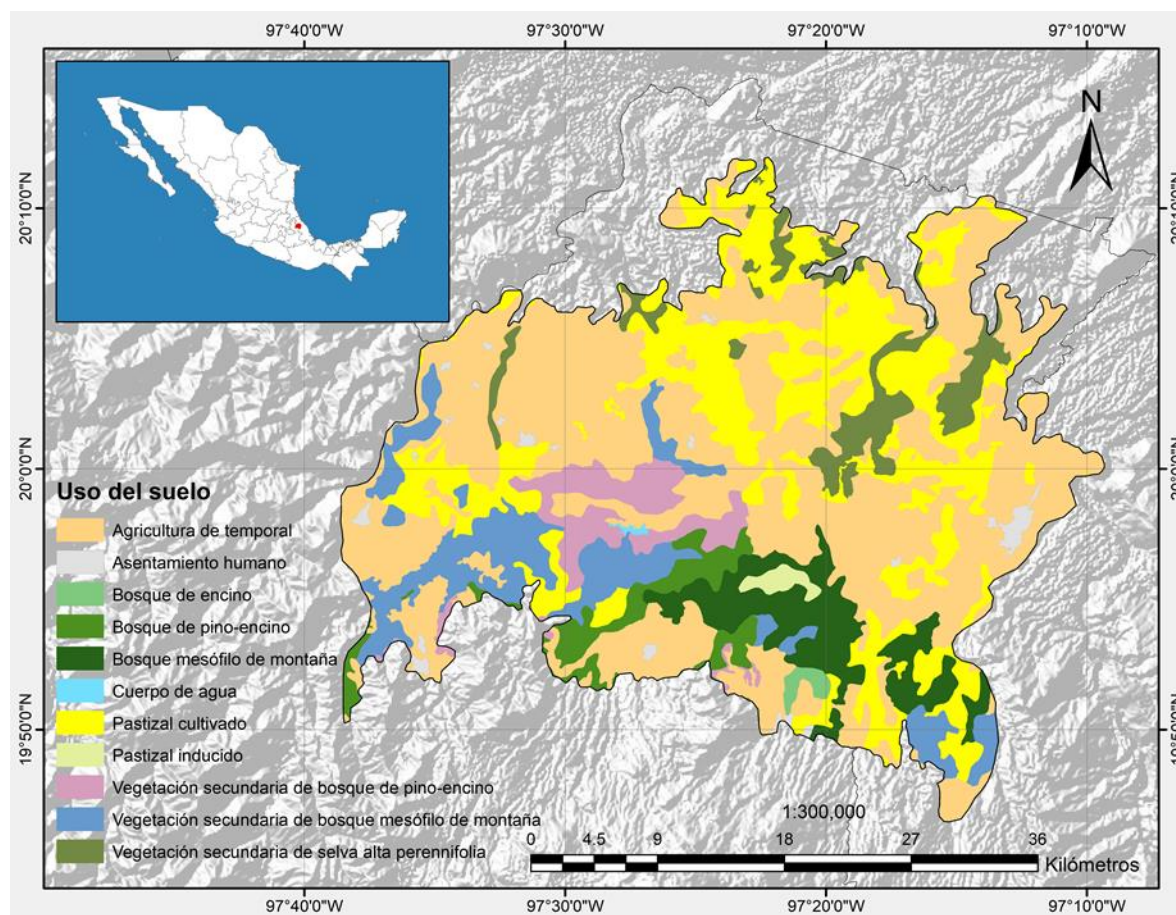


Figura 9. *Uso del suelo en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación, escala 1:250 000, serie VI.*

Otra característica relevante es que aún se encuentran bosques de encino y bosques de pino-encino en la zona, así como vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña; aunque la mayor parte del área se encuentra destinada a la agricultura de temporal y al pastizal cultivado.

Las zonas circundantes al bosque mesófilo de montaña se encuentran densamente pobladas y sometidas a una constante explotación, lo que origina que existan prácticas de agricultura seminómada que dan por resultado un mosaico de comunidades secundarias con diferentes grados de degradación, estas actividades resultan en una fuerte modificación del entorno natural (Tenorio, 2008)

VI.1.1 Bosque mesófilo de montaña

Se hace referencia a la Región Terrestre Prioritaria 105, debido entre otros factores a la existencia de Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) (Arriaga *et al.*, 2000).

De acuerdo con Rzedowski, las condiciones climáticas que requiere este tipo de vegetación se presentan en zonas restringidas y por consiguiente el bosque mesófilo de montaña tiene una distribución limitada y fragmentaria, se estima que cubre entre el 0.5% y el 0.87% del territorio de México (figura 10).

El límite altitudinal inferior de este tipo de vegetación en el país se sitúa alrededor de 600 m y se puede encontrar a altitudes superiores de 2 700 m. La precipitación media anual comúnmente pasa de 1 500 mm y en algunas zonas excede de 3 000 mm. La temperatura media anual varía de 12°C a 23° C y por lo general se presentan heladas en los meses más fríos.

El bosque mesófilo de montaña se desarrolla en regiones de relieve accidentado y sobre suelos someros o profundos, amarillos, rojos o negruzcos, con abundancia de materia orgánica en los horizontes superiores, ácidos (pH 4 a 6), de textura arenosa a arcillosa y húmedos durante todo el año (Rzedowski, 2006).

Está compuesto por múltiples asociaciones, su composición mixta de especies de afinidad templada y afinidad tropical, hacen que lo describan burdamente como una selva dentro de un bosque. A pesar de que este tipo de vegetación se establece en regiones reducidas, ya que sus asociaciones están prácticamente confinadas a

cañadas húmedas y laderas protegidas, no está exento de las afectaciones por fenómenos como el cambio climático, la precipitación de nitrógeno, la dispersión de contaminantes y de plásticos, etc. (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

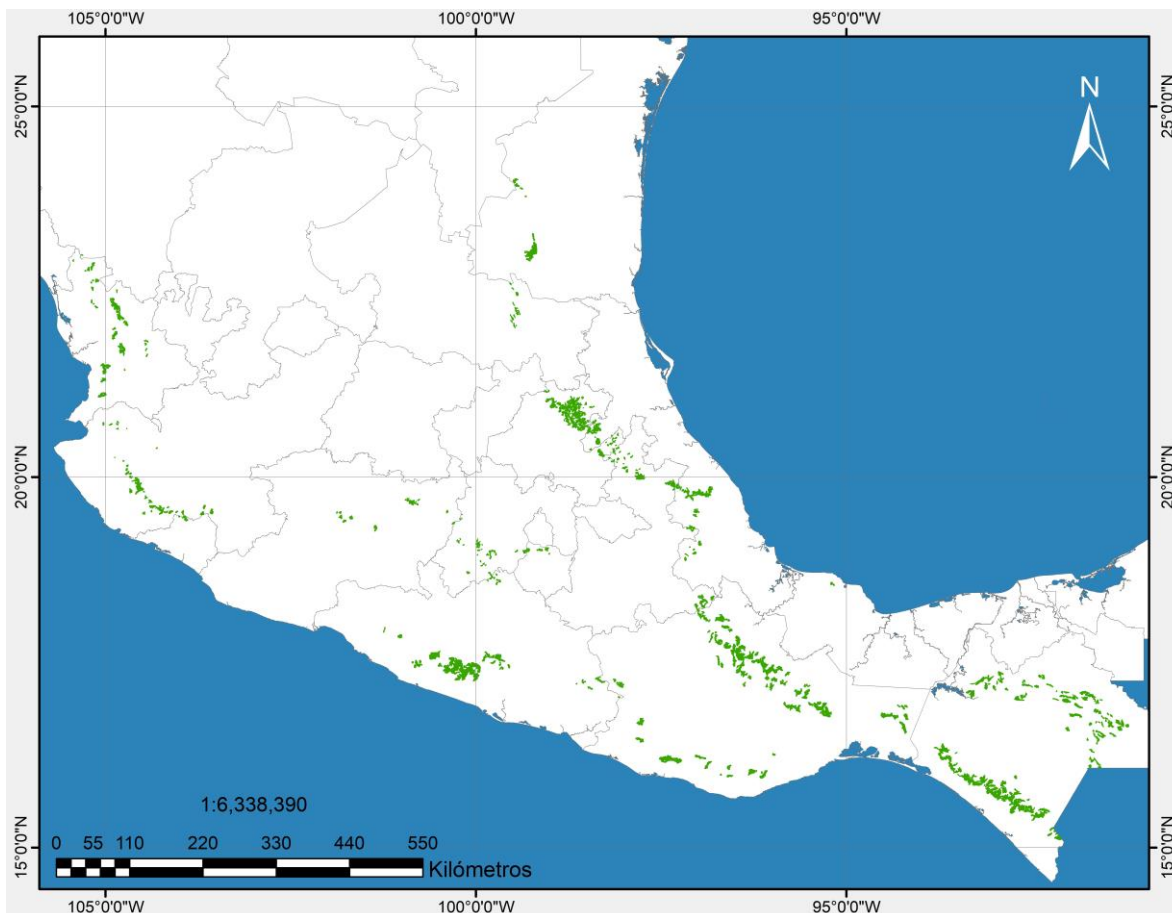


Figura 10. Distribución del bosque mesófilo de montaña en México. Adaptado de CONABIO. Catálogo de metadatos geográficos. Regionalización del bosque mesófilo de montaña, 2008.

Los requerimientos de este tipo de vegetación incluyen estar inmerso en nubes de manera cíclica y prolongada; sin embargo, el calentamiento global acelerado está reduciendo la entrada de humedad al sistema, ya que la altura a la que se forma el banco de nubes se está elevando. Al reducirse la densidad de nubes en las altitudes donde se encuentra hay menor precipitación, menos días con neblina y un aumento en la duración e intensidad de los periodos de sequía (Williams-Linera, 2007).

Debido a las condiciones climáticas favorables y a pesar de lo abrupto del terreno, muchas de las áreas cubiertas por el bosque mesófilo de montaña en México han estado densamente habitadas y sometidas a una intensa explotación. La vegetación original ha sido eliminada de grandes extensiones de terreno y en regiones enteras ya no existe (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

En la Región Terrestre Prioritaria 105, la situación no es diferente, el bosque mesófilo de montaña ha sido sometido a cambios drásticos en su composición, los manchones que prevalecen (figura 11) son víctimas de la presión antropogénica y de la escasez de programas que permitan conservar este tipo de vegetación.

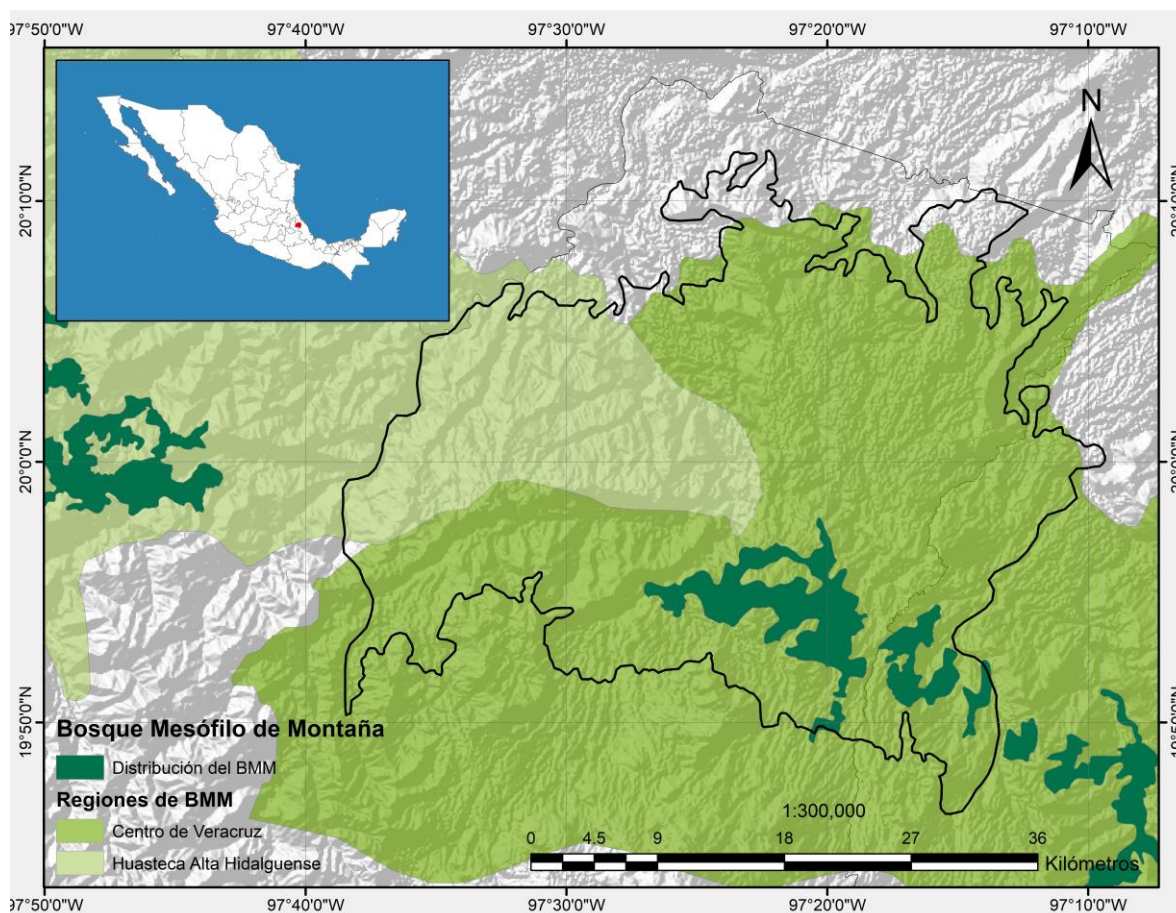


Figura 11. Distribución del bosque mesófilo de montaña en la RTP 105. Adaptado de CONABIO. Catálogo de metadatos geográficos. Regionalización del bosque mesófilo de montaña, 2008.

Es frecuente que en la región de estudio y en México, estas zonas se utilicen para actividades agrícolas por lo general de autoconsumo con cultivos de aguacate, cacao, caña de azúcar, frijol, manzana, naranja y maíz; no así para el café, ya que es un cultivo que llega a ser de tipo intensivo. El aprovechamiento forestal (a nivel local), así como la recolección excesiva de recursos no maderables (tierra, piedra, musgo, plantas y animales) son actividades que afectan la estructura y el desarrollo natural de estos sitios (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

En los lugares donde cualquier tipo de bosque sea reemplazado por cultivos o pastoreo intenso, siguen cambios profundos en la hidrología del área. La exposición de la superficie del suelo a los elementos lleva a un rápido decline en sus propiedades, y la capacidad de infiltración del suelo sufre debido a la compactación producida por el pisoteo del ganado. Como resultado de estos procesos, es casi inevitable el aumento de la cantidad de la escorrentía superficial (Tenorio, 2008).

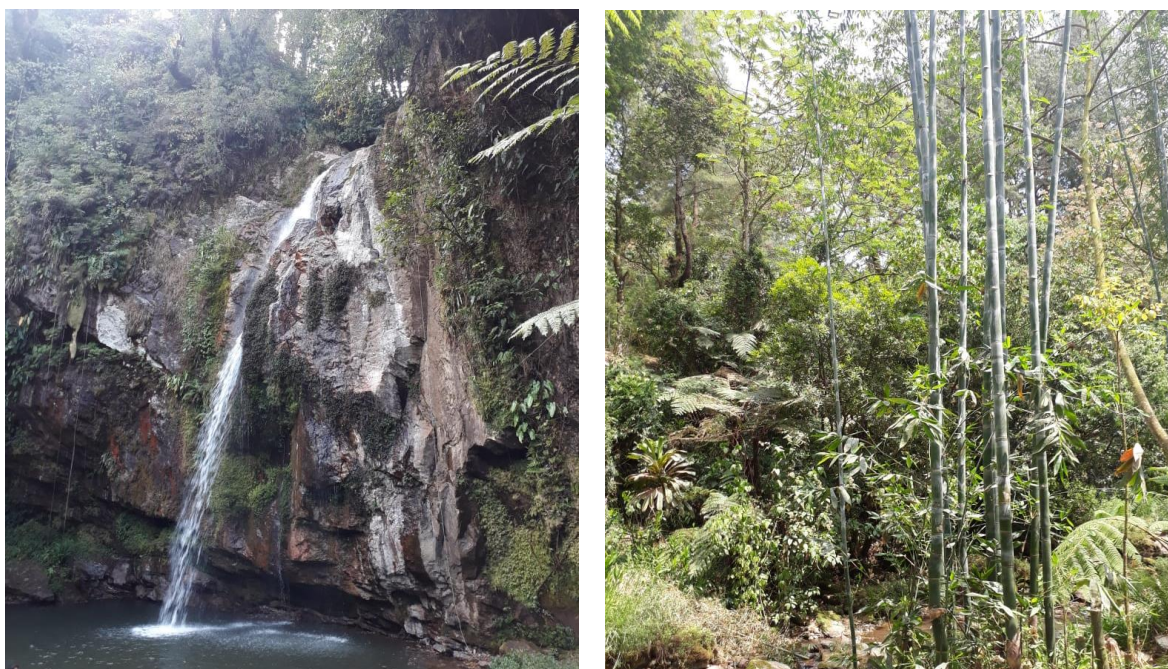


Figura 12. Bosque mesófilo de montaña en Cuetzalan. Imágenes de la autora.

El bosque mesófilo de montaña proporciona servicios ecosistémicos importantes, como la captación de agua, por la presencia de nubes y neblina. El bosque saludable es importante también en la purificación del agua y para evitar la erosión

de los suelos, el azolve de los ríos y el riesgo de inundaciones y deslaves, como las que se han presentado en años anteriores en la zona de estudio (Tenorio, 2008).

La enorme diversidad e impacto visual del bosque mesófilo de montaña en la región de estudio (figura 12) y en los relictos remanentes alrededor del mundo, hace de estos ecosistemas un registro ecoflorístico de los bosques primordiales del Paleozoico, de hace 250 a 360 millones de años. El valor educativo, recreativo, espiritual e inspirativo (es decir, los servicios ecosistémicos culturales) del bosque mesófilo podrían figurar entre los motivos más importantes para su conservación (Bruijnzeel *et al.*, 2006).

Al ser una de las comunidades vegetales más vulnerables y estar amenazados por el cambio climático global, la deforestación de formaciones vegetales de regiones adyacentes (conversión de selvas húmedas a potreros, con alto impacto sobre la formación de nubes) y del propio BMM para destinar el suelo a la agricultura de subsistencia o a cultivos extensivos de café, se encuentra en condición crítica de riesgo de supervivencia (Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa, 2014), por lo que son necesarios programas para su conservación y manejo a nivel regional y federal.

VI.II Clima

En la región se presentan cinco climas predominantes dispuestos en franjas latitudinales que marcan la transición de los climas templados de la Sierra Norte de Puebla a los climas cálidos del declive del Golfo de México (figura 13), esto es consecuencia de su posición geográfica y de su orografía. En lo referente a la temperatura, el factor que domina sobre sus variaciones es la altitud, que origina que en las partes más altas del sur y centro de la región dominen los climas templados, mientras que en las partes más bajas del declive del Golfo de México dominen los climas cálidos y semicálidos.

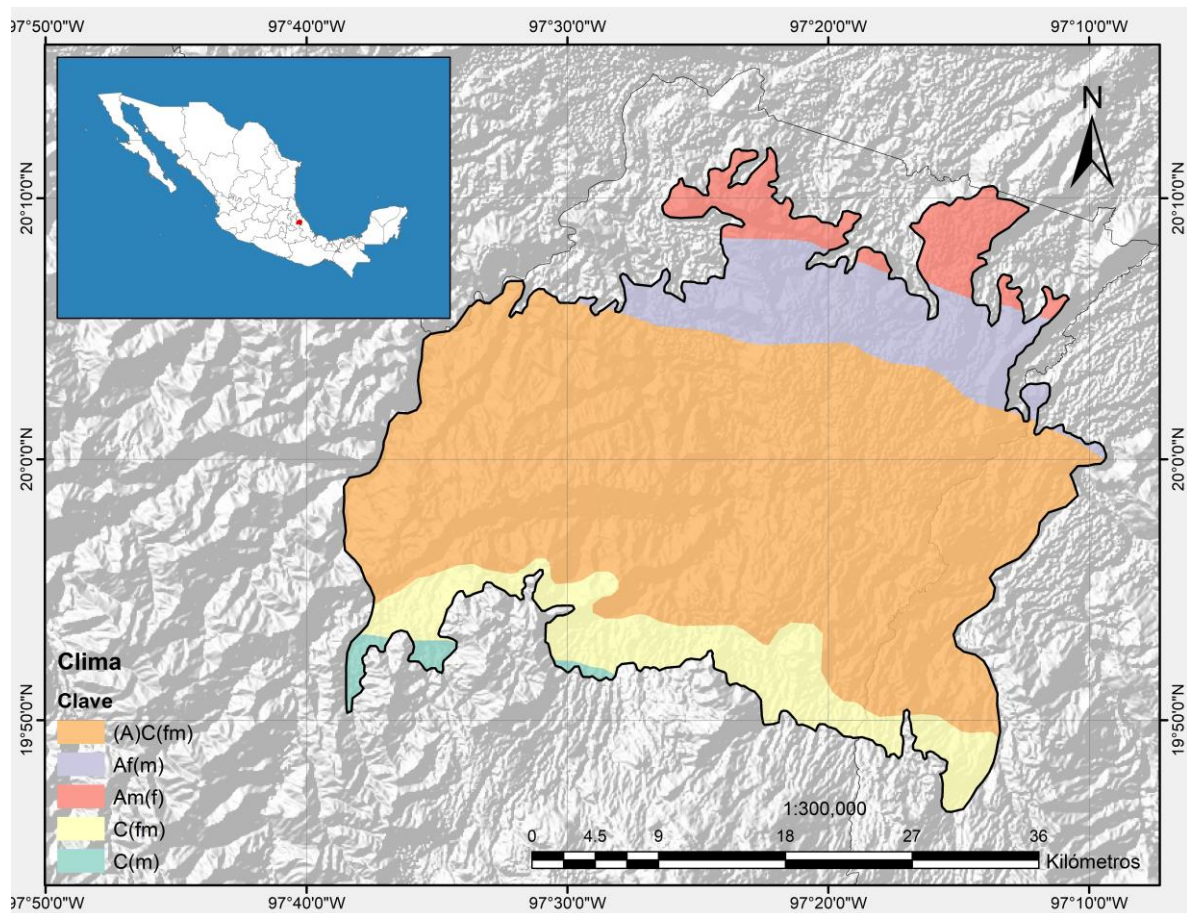


Figura 13. Distribución del clima en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas, escala 1:1 000 000, serie I.

De acuerdo a la clasificación de climas de Köppen, modificada por Enriqueta García y utilizada por el INEGI para México (INEGI, 2005), los climas que tienen presencia en la RTP 105 son los siguientes:

- (A)C(fm): Semicálido húmedo del grupo C (templado), temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; lluvias entre verano e invierno y porcentaje de lluvia invernal menor al 18% del total anual.

- Af(m): Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C con lluvias todo el año, precipitación del mes más seco superior a los 60 mm, lluvia invernal menor de 18% del total anual.
- Am(f): Cálido húmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.
- C(fm): Templado húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C con lluvias todo el año. Precipitación del mes más seco superior a 40 mm, lluvia invernal mayor de 18% del total anual.
- C(m): Templado húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

VI.III Fisiografía

La Región Terrestre Prioritaria 105 se encuentra comprendida entre las provincias fisiográficas denominadas Eje Neovolcánico, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte (figura 14).

VI.III.I Eje Neovolcánico

Conocido también como Sierra Volcánica Transversal, se encuentra ubicada en el centro del territorio mexicano, abarcando desde el Océano Pacífico hasta el Golfo

de México en una franja de 130 km. Inicia en la Costa Occidental y llega al Pico de Orizaba y al Cofre de Perote alcanzando unos 880 km. Es la provincia fisiográfica más elevada del país, así como una de las de mayor variación de relieve y de tipos de rocas; determina el límite físico entre el Norte de América y Centroamérica, así como el límite altimétrico, orográfico y climatológico (INEGI, 2008).

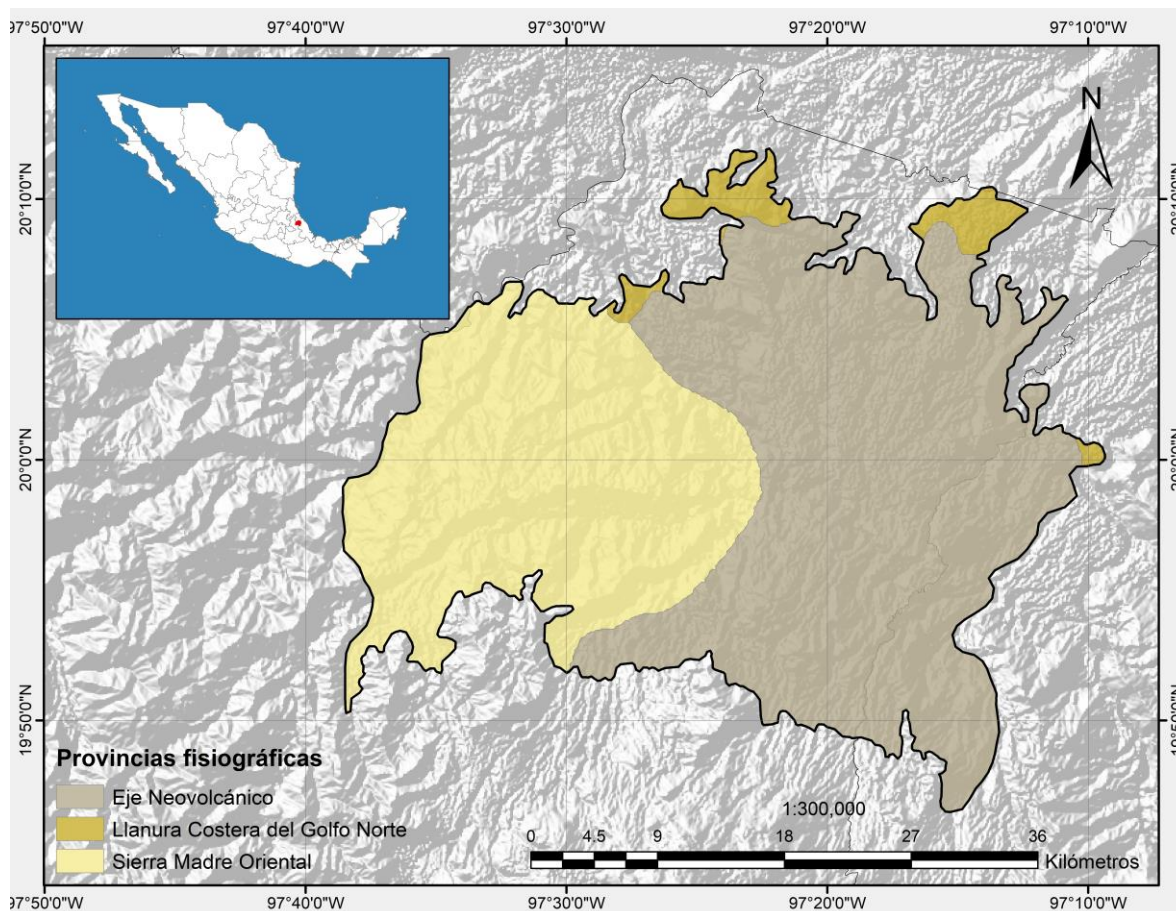


Figura 14. Provincias fisiográficas en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica, escala 1:1 000 000, serie I.

Está conformada por una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, derrames de lava y otras manifestaciones ígneas que abarcan desde la era Cenozoica hasta la actualidad. Está conformada por grandes sierras volcánicas, donde se encuentran los grandes volcanes de México, como el Pico de Orizaba, el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, el Nevado de Toluca, el Nevado de Colima, entre otros (González-Medrano, 2004).

Resultan características de esta provincia las amplias cuencas cerradas ocupadas por lagos como los de Pátzcuaro y Zirahuén, o los depósitos de lagos antiguos, como los de la cuenca endorreica del Valle de México, o bien la presencia de cuencas hundidas como la de Chapala convertida en la actualidad en un lago. También resalta que en esta provincia fisiográfica nacen dos de los ríos más importantes de México, el Río Lerma y el Balsas. Su flora es característica de los bosques templados, además de contar con bosques de coníferas y vegetación propia de los glaciares de alta montaña (González-Medrano, 2004).

Para su estudio esta provincia fisiográfica se dividió en 15 subprovincias, la zona de estudio recae en la denominada Chiconquiaco.

- **Subprovincia de Chiconquiaco**

Esta subprovincia pertenece al límite este del Eje Neovolcánico, que abarca parte de los estados de Puebla y Veracruz, donde las topoformas dominantes son sierras bajas y lomeríos (INEGI, 2017). Dentro de la zona de estudio comprende a los municipios de Acateno y Hueytamalco; y parte de los municipios de Tenampulco, Ayotoxco de Guerrero, Teziutlán, Cuetzalan del Progreso, Yaonáhuac, Tlatlauquitepec, Teteles de Ávila Castillo, Chignautla, Xiutetelco, Jalacingo, Atzalan, Altotonga y Tlapacoyan.

VI.III.II Sierra Madre Oriental

Situada en el este del país, tiene una dirección de noroeste a sureste, inicia en el sur de Texas y continúa hacia el sur de Veracruz hasta su punto de contacto con el Eje Neovolcánico a lo largo de más de 700km (INEGI, 2008).

Sus montañas están constituidas por rocas sedimentarias de origen marino, calizas y lutitas, principalmente de la era mesozoica; los estratos de estas rocas están doblados a manera de grandes pliegues que forman una sucesión de crestas

alternadas con bajos; las cumbres oscilan entre los 2,000 y 3,000 m. Los afloramientos de rocas más antiguas de esta provincia son las rocas metamórficas como gneises y esquistos del Precámbrico y del Paleozoico que constituyen el basamento de la sierra (González-Medrano, 2004).

En la región de estudio se introduce por el noroeste y se descompone en las Sierras de Zacapoaxtla, Teziutlán y Tetela de Ocampo.

Dividida para su estudio en 8 subprovincias, la zona de estudio recae en la denominada Carso Huasteco.

- **Subprovincia Carso Huasteco**

El área que comprende el Carso Huasteco dentro del territorio poblano pertenece a la región conocida como Sierra Norte de Puebla. Se ubica en la porción septentrional del estado. Dentro de la región de estudio se extiende total o parcialmente en los municipios de Cuetzalan del Progreso, Nauzontla, Ayotoxco de Guerrero, Huehuetla, Jonotla, Xochiapulco, Caxhuacán, Atlequizayan, Zoquiapan, Xochitlán de Vicente Suárez, Tuzamapan de Galeana, Hueyapan, Yaonáhuac, Tlatlauquitepec y Zacapoaxtla.

VI.III.III Llanura Costera del Golfo Norte

Esta provincia se comparte con E.U.A. Dentro del territorio mexicano se adelgaza hacia el sur, y presenta las características de una costa emergida de la era cenozoica, su longitud es de aproximadamente 700 km y muestra una anchura máxima de 200 km en el norte y de 75 km en el sur. En su parte noroeste, se tienen lomeríos alternados con llanuras, formados por materiales marinos cubiertos por un delgado aluvión (INEGI, 2008).

La llanura es recorrida por numerosos ríos (el Bravo, el Soto, la Marina, el Tamesí, el Pánuco, el Grijalva y el Usumacinta), mismos que depositan una gran cantidad

de sedimentos que forman barras, como las de Nautla y Tecolutla. Existen también lagunas costeras, siendo las mayores la Laguna Madre, la Laguna de Catemaco y la Laguna de San Andrés (INEGI, 2008).

Desde el punto de vista geológico, la mayor parte de las rocas son sedimentarias, calizas y lutitas cretácicas en las Sierras de San Carlos y de Tamaulipas; calizas terciarias y lutitas depositadas al noreste de Tamaulipas (cuenca de Burgos) y otras al sudeste (cuenca de Tampico-Misantla). En esta provincia es posible encontrar intrusiones de rocas ígneas ácidas e intermedias, rocas de origen volcánico y basálticas, del Terciario al Cuaternario (González-Medrano, 2004).

Para su estudio se divide en 4 subprovincias, la RTP 105 esta comprendida en la llamada Llanuras y Lomeríos.

- **Subprovincia Llanuras y Lomeríos**

Comprende una pequeña porción del noreste de la RTP 105, donde las topoformas predominantes son los lomeríos, se encuentra presente parcialmente en los municipios de Acateno, Ayotoxco de Guerrero, Hueytamalco, Tenampulco, Tuzamapan de Galeana, Zoquiapan y Tlapacoyan.

VI.IV Orografía

La región se encuentra situada entre el declive austral de la Sierra de Puebla, la Sierra Norte y el Declive del Golfo.

La Sierra Norte o Sierra de Puebla está formada por sierras más o menos individuales, paralelas, comprimidas unas contra las otras y que suelen formar grandes o pequeñas altiplanicies intermontañas que aparecen frecuentemente escalonadas hacia la costa; en tanto que el Declive del Golfo es el septentrional de la Sierra Norte hacia la llanura costera del Golfo de México, se caracteriza por sus

numerosas chimeneas volcánicas y lomas aisladas. El declive austral es el descenso, bastante irregular de la Sierra Norte (INAFED, 2010).

En general el relieve es muy accidentado, cuenta con varias cadenas montañosas, cerros y lomeríos (figura 15) con descensos de hasta 500 m en menos de 1 km, comprendiendo alturas que van de 100 m.s.n.m hasta poco más de 2,000 m.s.n.m.

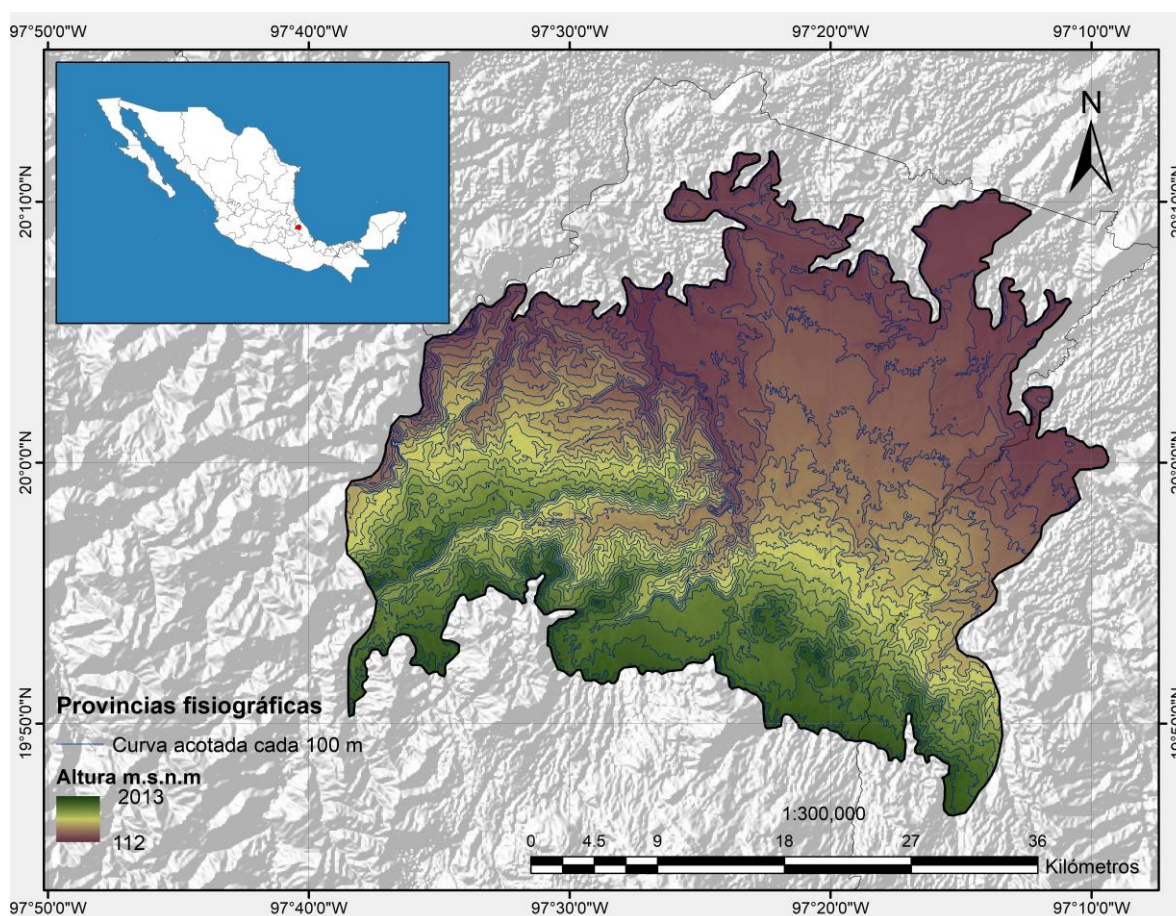


Figura 15. Orografía de la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica, escala 1:1 000 000, serie I.

VI.V Geología

De acuerdo con la Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del Estado de Puebla (1987) en las provincias fisiográficas en donde se sitúa la RTP 105

existen diversos afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como depósitos de suelos aluviales y lacustres, cada provincia posee características litológicas y estructurales distintivas relacionadas con los fenómenos que actúan en ellas durante el tiempo geológico.

Fisiográficamente existe un contraste en su relieve, evidencia de los procesos endógenos y exógenos ocurridos. Endógenos cuando se manifiesta la formación del relieve original con fenómenos tectónicos y magmáticos que ocasionan rupturas, aparatos volcánicos y cuerpos intrusivos, reconociéndose sierras volcánicas plegadas y complejas. Y los fenómenos exógenos se evidencian en las formas denudatorias del relieve, como las mesetas disectadas, y en las formas acumulativas como las planicies aluviales, las llanuras costeras y los lagos interiores. Dentro de la RTP 105 convergen 3 provincias fisiográficas y ambos fenómenos están presentes dando lugar a una litología variada y compleja.

VI.V.I Provincia Sierra Madre Oriental

Las rocas más antiguas clasificadas en la provincia son metamórficas y sedimentarias del Paleozoico, sin embargo, los que tienen afloramientos más extensos son las sedimentarias del ambiente marino del Mesozoico, aunque también hay pequeños afloramientos de rocas de tipo continental del Triásico.

Las rocas más jóvenes son las volcánicas, de composición ácida y básicas del Terciario Superior y Cuaternario, que coronan el paquete plegado de rocas del Mesozoico.

Del Paleozoico existen afloramientos de esquistos formados por metamorfismo regional de bajo grado. Pueden considerarse como el basamento sobre el que evolucionó la cubierta de rocas depositadas durante el Mesozoico. Esta unidad se localiza en Tlatlauquitepec, Yaonáhuac y Hueyapan.

Las rocas del Cenozoico son sedimentarias clásticas, depositadas de manera progadante en franjas paralelas a la costa del Golfo de México. Los depósitos del Paleoceno formados por una interestratificación de lutitas y areniscas de aguas moderadamente profundas, sobreyacen en concordancia a las calizas y lutitas del Cretácico Superior.

Durante el Cenozoico, gran parte de las rocas del Mesozoico y más antiguas de la zona fueron cubiertas por extensos derrames de lava y depósitos piroclásticos ácidos y básicos. Las rocas ígneas extrusivas intermedias, brechas volcánicas y tobas pertenecen a ventos magmáticos.

Las emisiones volcánicas andesíticas forman parte de las primeras manifestaciones que dieron lugar al Eje Neovolcánico a finales del Oligoceno.

Las rocas ígneas del Cuaternario, producto de la actividad volcánica del Eje Neovolcánico se encuentran sobrepuestas discordantemente a las rocas plegadas de la Sierra Madre Oriental.

VI.V.II Provincia Llanura Costera del Golfo Norte

La composición litológica es principalmente de rocas arcillo-arenosas de tipo marino y derrames basálticos. En el área de contacto con la Sierra madre Oriental las rocas sedimentarias presentan una intensa perturbación, reflejo de los esfuerzos a los que fue sometida la cordillera al plegarse hacia la planicie costera.

La provincia muestra evidencias de procesos denudatorios y acumulativos los cuales han modelado una extensa planicie aluvial con lomeríos.

Del Cretácico superior hay afloramientos constituidos por lutitas calcáreas en estratos delgados que contienen microfósiles del Campaniano, además de fragmentos de ostrácodos y radiolarios.

En el Paleoceno también fueron depositadas lutitas calcáreas que contienen intercalados algunos horizontes arenosos.

En el Cretácico Inferior se cubrió en su mayor parte por materiales terrígenos del Eoceno de lutitas, arenisca y margas, y solo en algunas áreas por rocas ígneas intrusivas del Terciario Superior.

Del Terciario Superior se incluyen derrames de basaltos, basaltos andesíticos e intercalaciones de basaltos y depósitos piroclásticos (tobas y brechas).

VI.V.III Provincia Eje Neovolcánico

Las rocas más antiguas en esta provincia son esquistos del Paleozoico, son afloramientos que asemejan ventanas de erosión en los terrenos predominantemente volcánicos y se localizan en el municipio de Hueyapan. También hay rocas sedimentarias marinas del Mesozoico que fueron puestas al descubierto por procesos erosivos, o bien no alcanzaron a ser cubiertas por las rocas volcánicas del Cenozoico Superior.

Entre las unidades del Mesozoico que se representan cartográficamente en esta provincia están las limolitas y areniscas del Jurásico Medio en el municipio de Teziutlán, y las calizas y lutitas del Jurásico Superior que afloran en los terrenos pertenecientes a Chignautla.

En el Cretácico Inferior hay representación de calizas, las cuales se encuentran distribuidas en los municipios de Hueytamalco y Tlatlauquitepec.

Del Cretácico Superior hay unidades de calizas y lutitas en las áreas pertenecientes a Ayotoxco de Guerrero y Acateno.

Hay también unidades sedimentarias del Cenozoico Inferior y Superior, algunas de ambiente marino como las lutitas alternadas con areniscas pertenecientes al

Paleoceno, Eoceno y Oligoceno, que están localizadas en Hueytamalco, Tenampulco y Acateno (INEGI, 1987).

VI.VI Hidrografía

La RTP 105 se encuentra inmersa en la región hidrológica 27, que lleva por nombre Norte de Veracruz o Tuxpan-Nautla; las regiones hidrológicas representan los límites naturales de las grandes cuencas de México, están conformadas en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas (Comisión Nacional del Agua, 2016).

Tiene presencia en la cuenca del Río Tecolutla y en la cuenca del denominado Río Nautla y otros (figura 16), que desembocan en el Golfo de México. Los arroyos que nutren a estas corrientes nacen en la Sierra de Puebla (INEGI, 2017).

Esta zona es la más lluviosa del estado; se registran precipitaciones de lluvia entre 1,500 a 3,000 mm al año; en el área de Cuetzalan se tienen medias anuales de más de 4,000 mm, pero se han llegado a registrar hasta 6,000 mm de precipitación (Tenorio, 2008).

El coeficiente de escurrimiento alcanza en general valores altos, dadas las abruptas pendientes y la creciente deforestación; fluctúa del 10% a más del 30% para la mayor parte de la región. Estas condiciones propician un escurrimiento anual en esta área de aproximadamente 6,697 mm³, que es casi 60% del escurrimiento virgen del estado de Puebla. De este volumen, 4,333 mm³ anuales fluyen al estado de Veracruz. Se presentan ríos jóvenes e impetuosos con gran cantidad de caídas en toda la región y es importante ya que aporta a la cuenca del río Tecolutla una superficie hidrológica de 2,275.81 km², en la que destaca la cuenca del río Apulco; por otra parte, la cuenca del río Nautla aporta una superficie hidrológica de 373.27 km² (Valera-Pérez, 1993).

De acuerdo con la Red Hidrográfica Digital de México del INEGI, escala 1:250 000 (2006), los principales ríos que atraviesan la región son el Apulco, Zempoala,

Alseseca, María de la Torre, Jalacingo, Atexcaco y Cedro Viejo; de igual forma se pueden localizar dos centrales hidroeléctricas, una dentro de la presa denominada la Soledad o Mazatepec, ubicada en el municipio de Tlatlauquitepec, y la segunda ubicada en el Encanto dentro del municipio de Tlapacoyan.

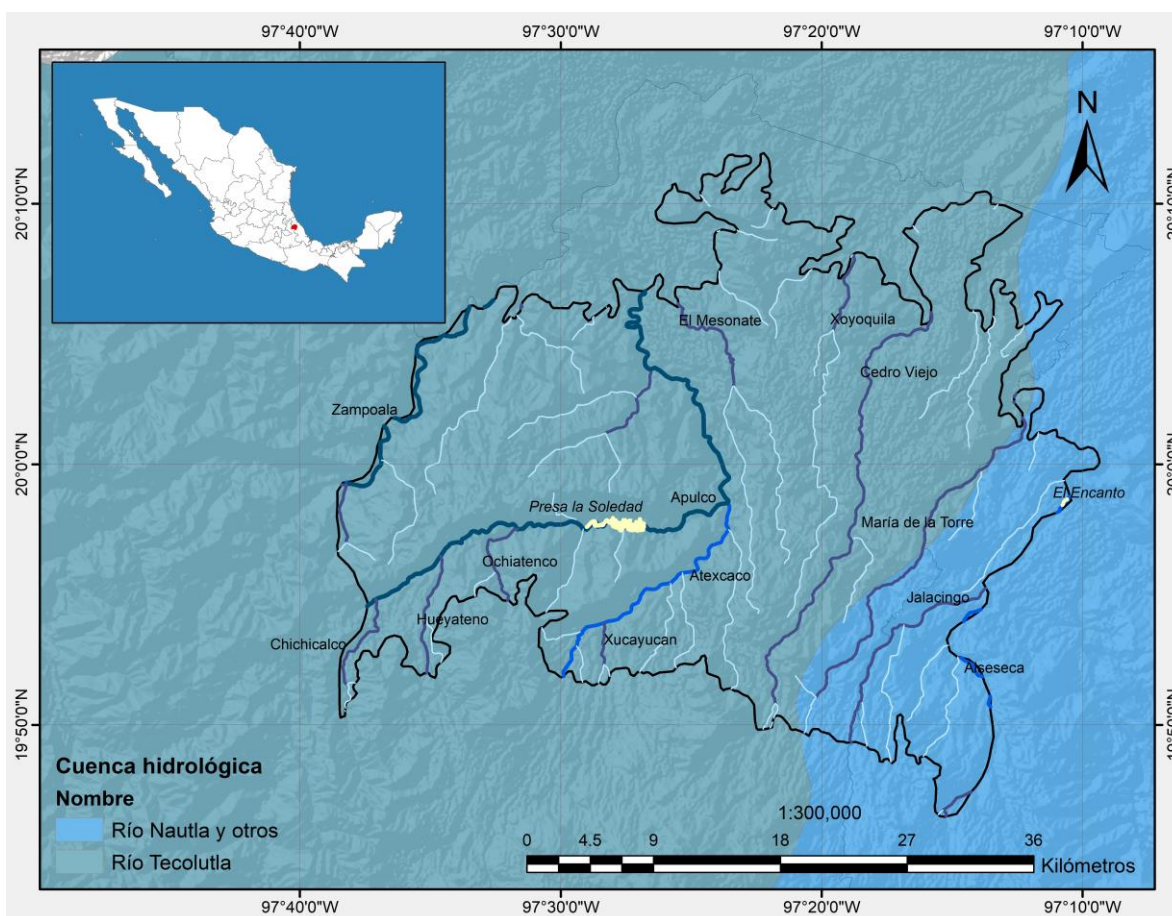


Figura 16. Cuerpos de agua en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, escala 1:250 000, serie I.

VI.VII Suelos

De acuerdo con el Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Escala 1:250 000, serie II del INEGI, los suelos predominantes en la zona de estudios son los siguientes (figura 17):

Acrisol: se ubica al extremo este de la región, dentro del municipio de Hueytamalco y Tlapacoyan.

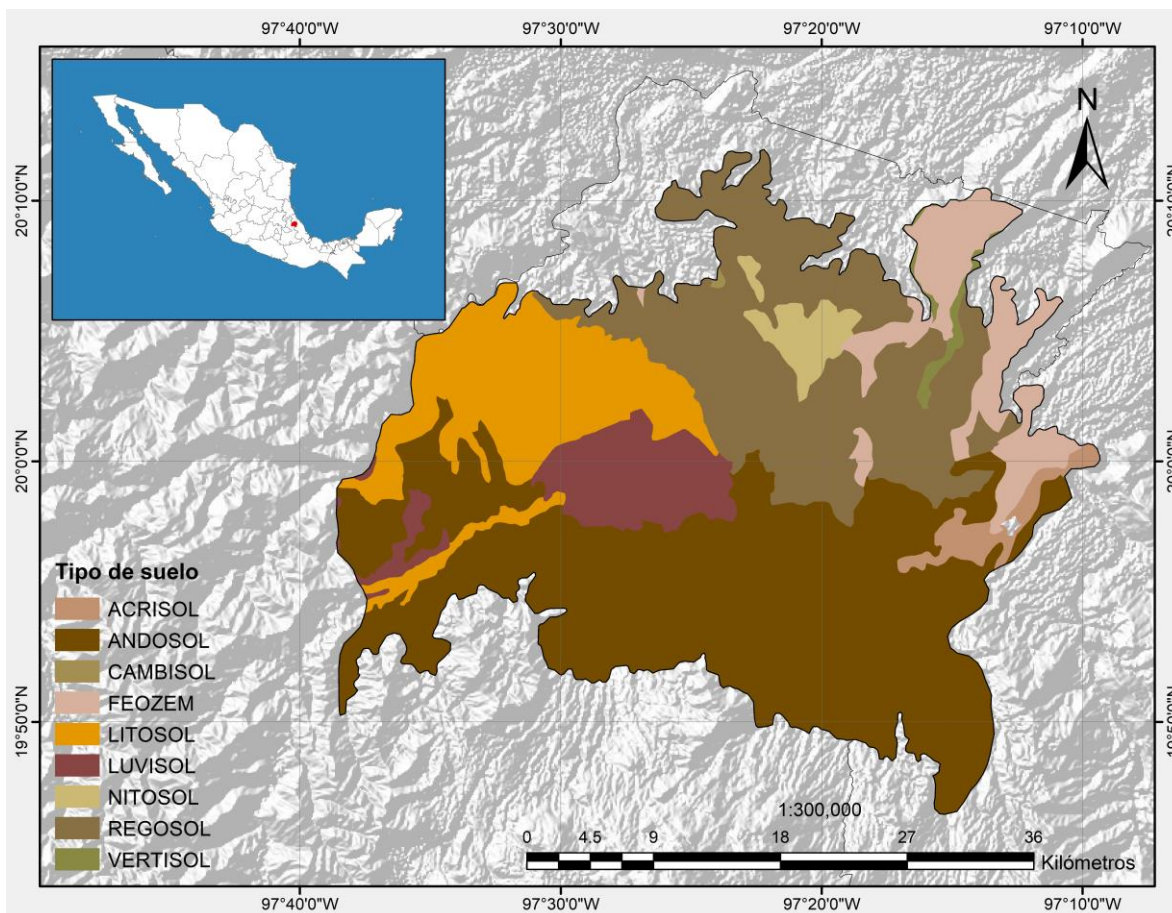


Figura 17. Tipos de suelo en la RTP 105. Adaptado de INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1:250 000, serie II.

Andosol: se encuentra presente en el centro y sur de la región, es conocido como suelo de origen volcánico, presente en los municipios de Altotonga, Atzalan, Cuetzalan, Chignautla, Hueyapan, Hueytamalco, Jalacingo, Jonotla, Nauzontla, Teteles de Ávila Castillo, Teziutlán, Tlapacoyan, Tlatlauquitepec, Xiutetelco, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez, Yaonáhuac, Zacapoaxtla, y Zoquiapan.

Cambisol: tiene presencia en una pequeña porción del extremo norte del municipio de Ayotoxco de Guerrero.

Feozem: se ubica en la parte noreste de la región, con presencia en los municipios de Acateno, Hueytamalco y Tlapacoyan.

Litosol o leptosol: se encuentra en la parte oeste de la región, en los municipios de Atlequizayan, Caxhuacán, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez, Zoquiapan, Huehuetla, Jonotla, Tuzamapan de Galeana, Zacapoaxtla y Zozocolco de Hidalgo.

Luvisol: se localiza en la parte central y suroeste de la región, encontrándose en los municipios de Cuetzalan del Progreso, Yaonáhuac, Tlatlauquitepec, Hueyapan, Zacapoaxtla, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez y Nauzontla.

Nitosol: está presente en la parte norte de la región en los municipios de Ayotoxco y Hueytamalco.

Regosol: ubicado en la parte norte de la región, con presencia en los municipios de Cuetzalan del Progreso, Zoquiapan, Ayotoxco de Guerrero, Tenampulco, Hueytamalco, Acateno y Tlapacoyan.

Vertisol: localizado en la parte noreste de la región en los municipios de Acateno y Hueytamalco.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de que con Arriaga y colaboradores (2000) se ofrece una breve descripción de la zona de estudio, mucha información faltante se agrega con la fase de recopilación de información bibliográfica y cartográfica, al elaborar los mapas con ArcGIS 10.3 y las descripciones detalladas de la zona presentados dentro del apartado de descripción de la zona de estudio, la cual da respuesta al objetivo número 1. Cabe destacar que de acuerdo con los autores la RTP 105 está dentro de los municipios de Acateno, Altotonga, Atempan, Atlequizayan, Atzalan, Ayotoxco de Guerrero, Caxhuacán, Chignautla, Cuetzalan del Progreso, Hueyapan, Hueytamalco, Huitzilán de Serdán, Jalacingo, Jonotla, Nauzontla, Tenampulco, Tetela de Ocampo, Teteles de Ávila Castillo, Teziutlán, Tlapacoyan, Tlatlauquitepec, Tuzamapan de Galeana, Xiutetelco, Xochiapulco, Xochitlán de Vicente Suárez, Yaonáhuac, Zacapoaxtla y Zoquiapan; sin embargo al analizar la zona se encuentra que Atempan, Huitzilán de Serdán y Tetela de Ocampo no tienen presencia dentro de la región, y se adiciona Huehuetla, Papantla y Zozocolco de Hidalgo (figura 18).

En cuanto a la recopilación de los puntos de muestreo, el primer proyecto en ser analizado es el trabajo de Valera (1986), con el inventario de suelos de la región de Teziutlán, en donde existe un acervo de 120 hojas de campo pertenecientes a perfiles edafológicos para ser analizadas. Los datos tuvieron que ser procesados para su posterior análisis, por lo que el trabajo comenzó con la obtención de las coordenadas geográficas de los perfiles de suelo, para así poder localizarlos espacialmente y discriminar aquellos que se encuentren fuera de la RTP 105.

El procedimiento para obtener coordenadas de los perfiles edafológicos registrados en los mapas físicos fue el siguiente:

1. Determinar la escala de la carta.
2. Ubicar la distancia de los puntos, si la carta es 1:250,000, cada centímetro valdrá, 2 500 metros o 2.5 kilómetros. La distancia entre el caneavá es de 4 cm o 10 000 m (10 km).

3. Las coordenadas que se usaron fueron las coordenadas cartesianas UTM, donde en la esquina inferior izquierda, tienen como origen las coordenadas E 610 000 y N 2 110 000 m. La RTP 105 se encuentra comprendida entre las coordenadas UTM E 614 000, N 2 170 000 y E 680 000, N 2 210 000.

4. Para determinar las coordenadas de un punto se determina cuál es la línea vertical más cercana a la izquierda del punto. Por ejemplo, para el punto 36, la línea vertical más cercana es la de E 670 000, con el escalímetro se medirá desde esta línea al punto, midiéndose 3.2 con la escala 1:25, siendo esto 3,200 m. los cuales se suman a 670,000; la coordenada en X o E será de 673 200 m. La línea horizontal debajo del punto es la 2 170 000, y la distancia medida es de 6.0, siendo esto 6,000 m. mismos que se suman a 2,170,000, por lo que la coordenada en Y o N será de 2 176 000 m.

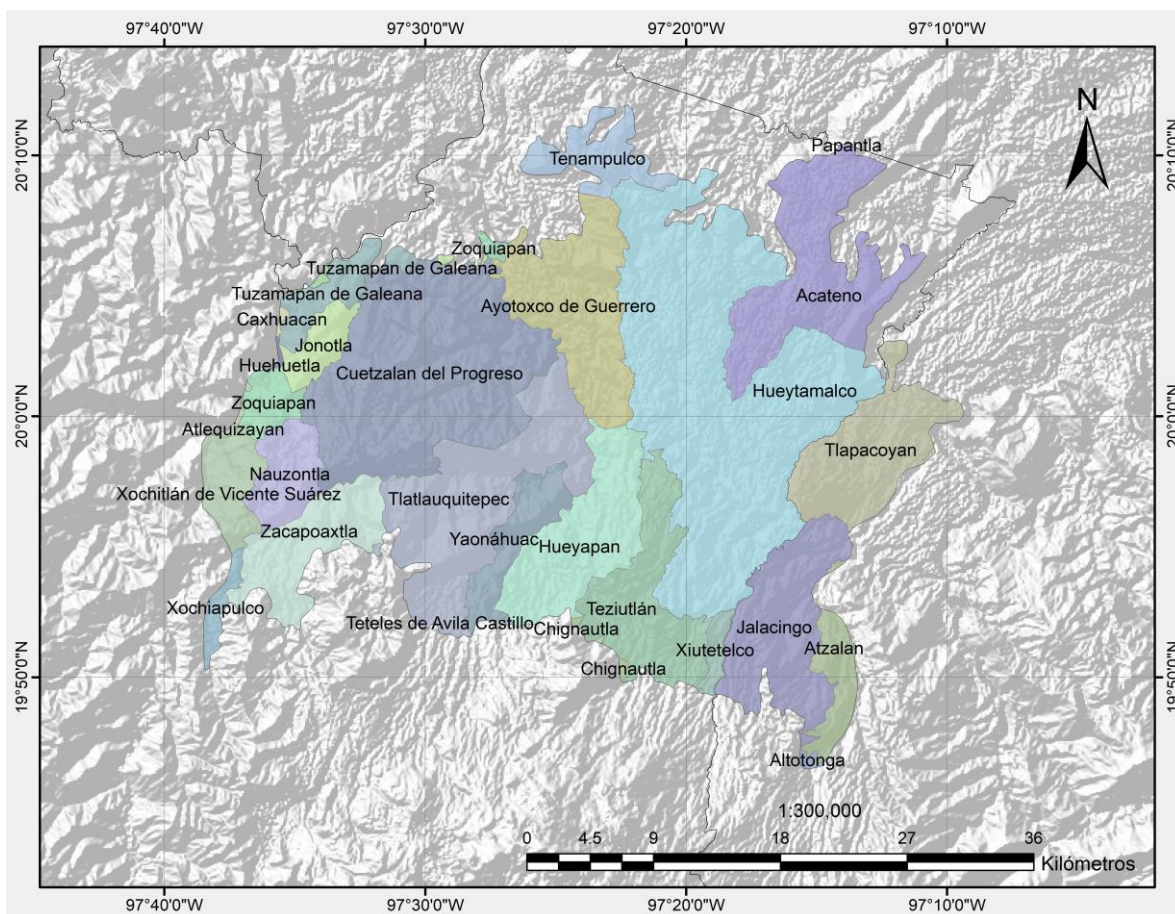


Figura 18. Municipios de la RTP 105. Adaptado de INEGI. Marco Geoestadístico Nacional, escala: 1:250000. Edición 2018 y CONABIO. Regiones Terrestres Prioritarias, escala 1:1000000. 2004.

Una vez concluido este procedimiento y con todas las coordenadas obtenidas para cada punto que determina un perfil edafológico, se procede a trasladar la información a ArcGIS 10.3, donde basado en la información proporcionada por la CONABIO, se reconoció la delimitación geoespacial de la RTP 105.

A esta información se le suman las bases de datos de trabajos previos realizados en la zona en años más recientes, mismos que aportan la información de las coordenadas de los puntos de muestreo, teniendo como resultado 215 perfiles de suelo (Anexo 3) para su posterior discriminación (figura 19).

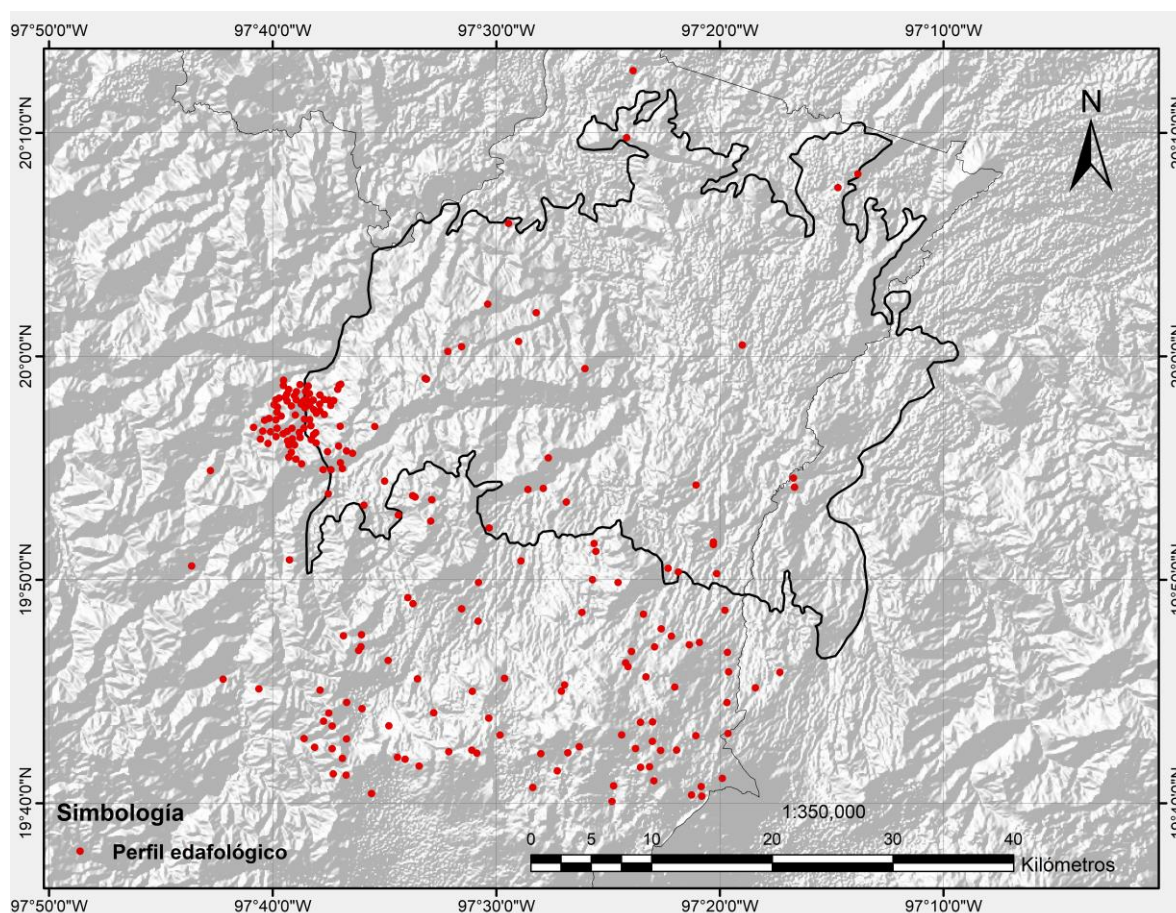


Figura 19. Localización de perfiles edafológicos en la RTP 105.

Después de realizar este procedimiento, se discriminaron aquellos perfiles edafológicos que no recaen en la zona de estudio, quedando una base de datos con

67 elementos (tabla 2), es importante mencionar que todos los datos dispuestos pertenecen al horizonte A de los sitios de muestreo.

Tabla 2. Registro de los perfiles edafológicos en la RTP 105.

Perfil	X	Y	Calidad	Tipo de suelo	Textura	% Materia Orgánica	%N	pH
3A	644849	2203296	I	Leptosol	Franco	3.8	0.19	5.4
4	676096	2213289	D	Cambisol				
5	680300	2201600	D	Andosol	Franco Arenoso	13.57	0.6	5.39
9A	644690	2204656	D	Andosol	Franco Arcilloso	14	0.68	5.7
10	654212	2212959	D	Feozem				
11	651400	2210300	D	Andosol	Arena Francosa	13.3		4.13
12	644800	2206300	D	Andosol				
13	646700	2199800	I	Andosol				
14	661068	2203827	I	Feozem				
14A	644050	2208021	D	Luvisol	Franco Arenosa	8.6	0.36	4.9
15	663847	2211233	I	Luvisol				
15A	645305	2204270	D	Andosol	Franco	9.7	0.42	5.3
16	684956	2227527	D	Regosol				
16A	645789	2204084	D	Leptosol	Franco Arcilloso	10.5	0.46	4.4
17	683429	2226373	D	Luvisol				
17A	644108	2202713	I	Andosol	Franco Arcilloso	3.2	0.12	7.6
19	666922	2230327	D	Vertisol				
20A	643551	2207260	D	Andosol	Franco	5.1	0.24	5.1
30A	642520	2206320	D	Luvisol	Franco	5.9	0.23	5.3
32A	642550	2205180	D	Andosol	Franco	7	0.3	6.1
33	656215	2216483	D	Luvisol				
34	657782	2223169	D	Vertisol				
34A	643205	2207577	D	Andosol	Franco	7	0.32	6.5
35A	644588	2209352	D	Andosol	Franco Arcilloso	2.7	0.12	7
40A	642080	2209159	D	Cambisol	Franco Arcilloso	9.1	0.41	4.8
41A	643549	2208504	D	Luvisol	Arcilloso	6.4	0.3	7.2
42A	642146	2208470	D	Luvisol	Arcilloso	6	0.28	6
43A	643190	2208872	D	Luvisol	Arcilloso	6.2	0.33	7.4
44	674000	2196800	I	Andosol	Arenosa	16.26	0.45	5.35
45	674300	2194400	D	Andosol				
45A	643906	2208449	D	Luvisol	Arcilloso	5.2	0.24	5.8
46	670500	2194800	D	Andosol	Arenosa	16.35		4.93
47	672600	2201700	I	Andosol				
49A	643203	2208863	D	Cambisol	Arcilloso	3.9	0.16	5.8
50A	644265	2208419	D	Luvisol	Arcilloso	4.1	0.21	5.7
51A	642733	2207651	D	Andosol	Arcilloso	4.7	0.19	5.6
52	671300	2194500	D	Andosol				
54A	642676	2208434	D	Luvisol	Arcilloso	4.7	0.21	5.6
59A	642412	2206826	D	Luvisol	Franco Arcilloso	4.5	0.2	4.8
61A	642279	2209593	D	Luvisol	Arcilloso	3.5	0.16	5.9
62A	642734	2205590	D	Luvisol	Arcilloso	2.7	0.11	7.4
63A	643191	2208115	D	Luvisol	Arcilloso	2.9	0.11	7.4
65A	642412	2208008	D	Andosol	Arcilloso	3.7	0.14	5.6
66A	642923	2207364	D	Andosol	Arcilloso	3.8	0.17	5.3
69A	643828	2204198	I	Leptosol	Arcilloso	2.9	0.13	6.6
72A	643912	2200719	D	Leptosol	Arcilloso	3	0.11	7.5
74A	642385	2208975	D	Cambisol	Arcilloso	2.8	0.13	6.3
75A	644288	2208423	D	Luvisol	Franco Arcilloso	9.8	0.44	3.7
76A	644686	2209674	D	Luvisol	Franco Arcilloso	15.3	0.69	3.5
79A	642927	2204916	D	Andosol	Franco	5.2	0.24	5.6
ID17	674000	2197000	I	Andosol				
ID21	644248	2208426	D	Acrisol	Franco	9.8	0.43	3.7
ID22	644814	2209768	D	Andosol	Franco Arenosa	30.27	0.88	3.5
ID23	642031	2208464	D	Luvisol	Arcilloso	15.3	0.94	6.8
ID25	642927	2204916	D	Andosol	Franco	5.2	0.5	5.6
ID26	642904	2205758	D	Luvisol	Arcilloso	9.34	0.37	4.6
101	648300	2201800	D	Andosol				
106	656500	2198000	D	Andosol				
107	661818	2198991	D	Andosol	Franco Arenosa	18		4.55
108	662500	2200200	D	Feozem				
110	660700	2201300	I	Andosol	Franco Arenosa	12.01	0.54	4.76
117	647500	2206300	D	Andosol				
118	649400	2199000	I	Andosol	Franca	10.12	0.45	6.02
119	653140	2212550	D	Acrisol				
120	659999	2215810	D	Cambisol				
121	658654	2213430	D	Cambisol				
122	645000	2202800	I	Luvisol				

De acuerdo con la literatura revisada es necesario tener un conjunto mínimo de variables para poder relacionar las propiedades del suelo con la función que realizan y que a su vez se vincula con los servicios ecosistémicos que proporciona, todo esto basado en la información y los recursos disponibles, para este estudio basado en la disponibilidad de información, se seleccionaron el tipo de suelo, la textura, el contenido de materia orgánica, el porcentaje de nitrógeno total y el pH.

El mayor porcentaje de los perfiles recolectados son de suelos tipo Andosol (tabla 3) o suelos de origen volcánico de acuerdo con la WRB (IUSS Working Group WRB, 2015).

Este tipo de suelo es especialmente importante por su alto potencial de producción agrícola, se consideran extremadamente fértiles, fáciles de cultivar, con buenas propiedades de enraizamiento y buena capacidad de almacenar agua, en la región de estudio están ligados principalmente a la producción de café y a los cultivos de temporal como el maíz, frijol, trigo y hortalizas.

Sin embargo, sobre estos suelos es donde se encuentran los principales manchones de bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino y bosque de encino dentro de la región, lo cual vuelve este tipo de vegetación vulnerable de ser convertida en tierra de uso agrícola.

Tabla 3. Tipo de suelo en los perfiles edafológicos en la RTP 105.

Tipo de suelo	No. de perfiles	Pocentaje %
Andosol	29	43.28358209
Luvisol	20	29.85074627
Cambisol	6	8.955223881
Leptosol	4	5.970149254
Feozem	3	4.47761194
Vertisol	2	2.985074627
Acrisol	2	2.985074627
Regosol	1	1.492537313
TOTAL	67	100

El siguiente tipo de suelo en porcentaje es el Luvisol, este tipo de suelo se considera un suelo zonal, o sea que está ligado a ciertas condiciones biológicas y climáticas específicas (principalmente a climas templados); es considerado un tipo de suelo

fértil y tiene un rango amplio de usos agrícolas, sin embargo, requieren de fuertes medidas de control para evitar su erosión, especialmente la erosión hídrica si se encuentran en pendientes (Bautista *et al.*, 2010).

En la región de estudio este tipo de suelo se encuentra justamente en una zona con un relieve muy accidentado, lo que significa que estos suelos necesitan de medidas de conservación con un desarrollo tecnológico específico para evitar su erosión. Los perfiles estudiados referentes a este tipo de suelo tienen una calidad tanto dinámica como inherente, donde se muestran aquellos sitios con calidad dinámica en un proceso de degradación, que significaría una disminución en la calidad y cantidad de alimentos que se obtienen de este tipo de suelo en el lugar; aquellos vinculados a calidad inherente se encuentran sobre zonas con vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña.

Hay seis perfiles que pertenecen al tipo de suelo Cambisol, estos suelos se consideran excelentes tierras agrícolas y se usan intensivamente en todo el mundo, los que se encuentran en zonas templadas como la RTP 105, están entre los suelos más productivos del planeta. De acuerdo con la WRB, los Cambisoles en pendientes deben conservarse bajo vegetación natural, la cual casi siempre es algún tipo de bosque para evitar su degradación (IUSS Working Group WRB, 2015). Todos los perfiles de este tipo de suelo reportan una calidad dinámica, lo que significa que son aprovechados con actividades agrícolas, específicamente destinados a pastizales cultivados y producción de café.

El siguiente tipo de suelo que se observa es el Leptosol, este tipo de suelo tiene como principal característica su poca profundidad, situándose principalmente en áreas montañas con afloramientos rocosos (Segundo-Métay *et al.*, 2017), se consideran principalmente tierra forestal y un recurso potencial para el pastoreo en estación húmeda, actualmente su principal amenaza es la sobreexplotación y la creciente contaminación ambiental. La agroforestería (una combinación o rotación de cultivos arables y árboles bajo control estricto) es prometedora como metodología de buen manejo (IUSS Working Group WRB, 2015). Hay cuatro perfiles con este tipo de suelo, dos de ellos con calidad dinámica asociada a la producción

de café y dos con calidad inherente en zonas con vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña.

Los Feozems son suelos porosos, considerados altamente fértiles y son muy valorados como tierras agrícolas (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2017). Grandes extensiones de estos suelos son utilizadas para pastos mejorados y para el cultivo de cereales, en la zona se identifica que, de los tres perfiles registrados, dos presentan calidad dinámica y se encuentran dentro de zonas aprovechadas con pastizales y plantaciones de cítricos, el perfil con calidad inherente se encuentra dentro de una zona con vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña.

En menor cantidad se encuentran puntos de muestreo que presentan un tipo de suelo conocido como Vertisol, estos suelos tienen potencial agropecuario condicionado a un manejo adecuado para una producción sostenida, ya que son suelos con una alta proporción de arcillas expandibles y una lenta infiltración, poseen la capacidad expresado de forma coloquial contraerse y expandirse de una forma cíclica de acuerdo con las estaciones de lluvia y sequía (Dzib-Castillo *et al.*, 2014). Ambos perfiles registrados en el estudio con este tipo de suelo poseen una calidad dinámica, asociada a la agricultura de temporal (maíz) y a zonas con pastizales cultivados, donde se reporta un evidente proceso de degradación del suelo.

Los Acrisoles son suelos ácidos con migración de arcilla a horizontes más profundos, se encuentran en regiones tropicales húmedas, subtropicales húmedas y templado cálidas (IUSS Working Group WRB, 2015), se les considera pobres en cuanto a nutrientes se refiere y para poder obtener rendimientos agrícolas suelen enriquecerse con materia orgánica. Solo hay registro de dos perfiles con este tipo de suelo y ambos poseen calidad dinámica, destinados a ser pastizales para uso pecuario.

Por último, el menor porcentaje de tipo de suelo observado pertenece al tipo de suelo conocido como Regosol, el cual de acuerdo con la WRB es un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron agruparse en alguna otra categoría, son suelos minerales muy débilmente desarrollados en

materiales no consolidados, están extendidos en zonas erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos. Hay registro de un solo punto de muestreo con este tipo de suelo en la región, reportado con calidad dinámica, se menciona que está destinado a su uso como pastizal y se encuentra alterado por el ganado.

Otra variable que se considera dentro del estudio es la textura, puesto que todos los suelos están compuestos por partículas minerales de diferentes tamaños. Las más gruesas se denominan arenas, las medianas limos y las más pequeñas se conocen como arcillas (tabla 4) (Ciancaglini, 2011).

Tabla 4. *Clasificación de la textura del suelo.*

Tamaño de las partículas	Tipo
Hasta 2 micrones	Arcilla
de 2 a 20 micrones	Limo
de 20 a 200 micrones	Arena fina
de 200 a 2000 micrones	Arena gruesa
más de 2000 micrones	Gravillas y gravas
(1 micrón = milésima parte de un milímetro)	

El conjunto de arenas, limos y arcillas del suelo se conoce como textura del suelo, esta propiedad es relevante porque en función de esta composición los suelos poseen diferentes capacidades de retención de humedad, transporte y flujo de agua que depende también del contenido de materia orgánica presente; así como la movilización de compuestos químicos (FAO, 2020a). Pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Suelos arenosos: predominan las partículas minerales mayores de 2000 micrones de diámetro, son suelos que se consideran muy permeables (la permeabilidad es la velocidad de infiltración del agua de gravitación). Su capacidad de retención de agua es baja, y también lo es el agua disponible para las plantas, poseen buena aireación.

- Suelos limosos: imperan las partículas entre 2 y 2000 micrones. En estos suelos la permeabilidad varía mucho según la estructura. Usualmente presentan una buena cantidad de agua disponible para las plantas, ya que retienen mucha más agua que los suelos arenosos.
- Suelos arcillosos: las partículas dominantes son aquellas menores de 2 micrones. Se consideran suelos impermeables y poco aireados, retienen mucha agua, sin embargo, no toda está disponible para las plantas, contienen buenas reservas de nutrientes y forman barro cuando están saturados de agua.
- Suelos francos: no predomina claramente ninguno de los tres tipos de partículas. Al ser una mezcla de arenas, limos y arcillas suelen presentarse las ventajas de los distintos tipos de partículas sin sus desventajas. Se consideran los mejores para el crecimiento de plantas y también con la mejor capacidad de retención y flujo de agua y nutrientes.

La siguiente variable por tomar en cuenta es la materia orgánica en los suelos, esta proviene de una mezcla de componentes biogénicos, en proporciones y estados evolutivos muy variables (Sales-Dávila, 2006):

- i) restos vegetales y animales en fase de descomposición microbiana (1-10%)
- ii) sustancias no húmicas (10-40 %), compuestos orgánicos clasificables en categorías bioquímicas conocidas, como polisacáridos, ligninas, polímeros lipídicos, proteínas, resinas, pigmentos, etc.
- iii) sustancias húmicas (SH) (40-60 %), que constituyen el principal reservorio de carbono en los suelos.

Dicha propiedad es fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos, la materia orgánica actúa como reguladora del pH, al biodegradarse forma CO₂ que actúa en el intemperismo impartiendo propiedades físicas óptimas, participa en numerosos procesos geoquímicos que influyen en la productividad y preservación de los ecosistemas terrestres y se considera un factor determinante de la calidad de los suelos (Lal, 2015).

Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos en México se establecen en la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (tabla 5).

Tabla 5. Valores de referencia para porcentaje de materia orgánica en el suelo.

Clase	Materia orgánica %	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	<0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0

Dentro de los perfiles se tiene un porcentaje de materia orgánica que va desde el 2.7% hasta el 30.27%, lo que significa que hay una gran variabilidad, se observa que los perfiles con calidad inherente son los que poseen los valores más altos de materia orgánica.

Otra variable relevante es el nitrógeno total, ya que el nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los seres vivos, constituyente principal de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como de las paredes celulares y clorofila en los vegetales y actúa como elemento limitante en la producción de biomasa. Las cantidades de nitrógeno presentes en los suelos dependen de las condiciones climáticas, la vegetación, la actividad microbiana, la topografía, el material parental, las actividades antropogénicas y el tiempo (Perdomo & Barbazán, 2017) .

Recientemente el nitrógeno ha tomado importancia por su incidencia en los problemas de impacto ambiental, pues el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados provoca desnitrificación que contribuye a las emisiones terrestres de óxido nitroso (N₂O), así como lixiviación que contamina los acuíferos (Améndola-Massiotti, 2011).

De acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos,

estudios, muestreo y análisis. Se contemplan los rangos de porcentaje de nitrógeno total para suelos no volcánicos (tabla 6) y suelos volcánicos (tabla 7).

Tabla 6. Valores de referencia para porcentaje de nitrógeno total en suelos no volcánicos.

Clase	Nitrógeno total %
Muy bajo	< 0.05
Bajo	0.05 - 0.10
Medio	0.10 - 0.15
Alto	0.15 - 0.25
Muy Alto	> 0.25

Tabla 7. Valores de referencia para porcentaje de nitrógeno total en suelos volcánicos.

Clase	Nitrógeno total %
Bajo	< 0.30
Medio	0.30 - 0.80
Alto	> 0.80

Como ultima variable se distingue la acidez del suelo o pH, la cual es una medida de la actividad del ion hidrógeno (H^+) en la solución del suelo y se define como el logaritmo negativo de la concentración de los iones: $-\log^{10} [H^+]$. En estado natural, la actividad de los H^+ es una función del material parental, el tiempo de intemperización, vegetación, clima y la topografía. Además de estos factores formadores del suelo, el pH está influenciado por los cultivos, uso de fertilizantes amoniacales, lluvia ácida, aplicaciones de abono, materia orgánica, prácticas de manejo agrícolas y la actividad biológica, estos dos últimos factores pueden ser manipulados en poco tiempo para aumentar la calidad de los suelos (Tenorio, 2008).

Un pH de 7.0 es neutral; suelos con pH menores a 7.0 son ácidos, mientras que los valores arriba de 7.0 son básicos o alcalinos. En general para los perfiles observados el valor de pH de los suelos es ligeramente ácido, dado que los suelos con mayor cantidad de perfiles edafológicos registrados son de andosoles, y estos tienden a ser ligeramente ácidos de acuerdo con los autores de las publicaciones.

En la región de estudio y basados en los trabajos previos se distinguen dos tipos de calidad en los perfiles (inherente y dinámica). Es de destacar que 55 perfiles tienen calidad dinámica y solo 12 calidad inherente (figura 20).

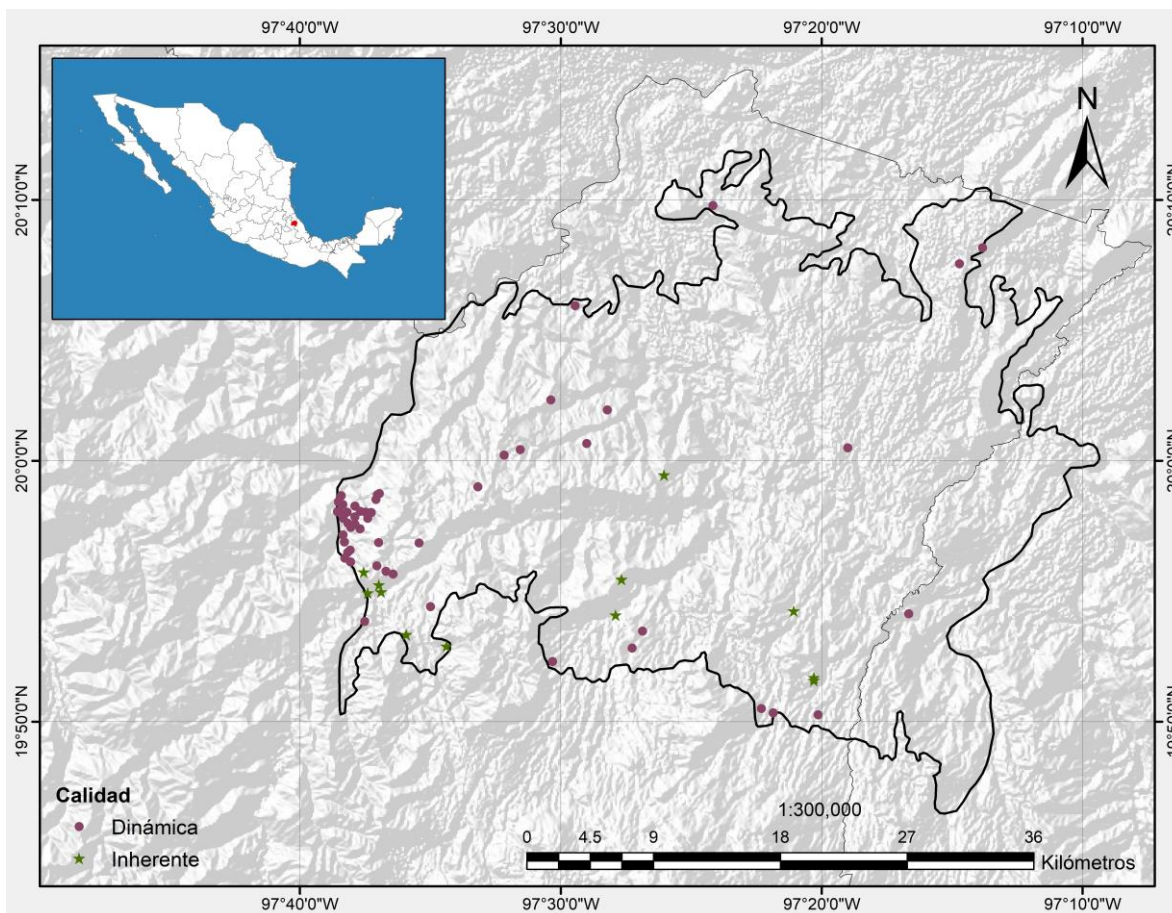


Figura 20. Perfiles con calidad dinámica e inherente en la RTP 105.

Con esta información se procede a realizar el análisis estadístico de la relación de las propiedades de los suelos expresadas con las variables observadas en el recurso edáfico en la RTP 105, para así crear un indicador de servicios ecosistémicos, este proceso se divide en dos partes:

1. Utilizando el Análisis de Componentes Principales (APC), llevado a cabo con las variables observadas (%Materia Orgánica, %Nitrógeno y pH), se obtiene que la primera componente principal (PC1) explique el 77% de la variabilidad

del fenómeno, destacando la importancia del %Materia Orgánica y del %Nitrógeno.

Las puntuaciones (score) de la PC1 sirven como indicador de servicios ecosistémicos que proporciona el suelo en la RTP105.

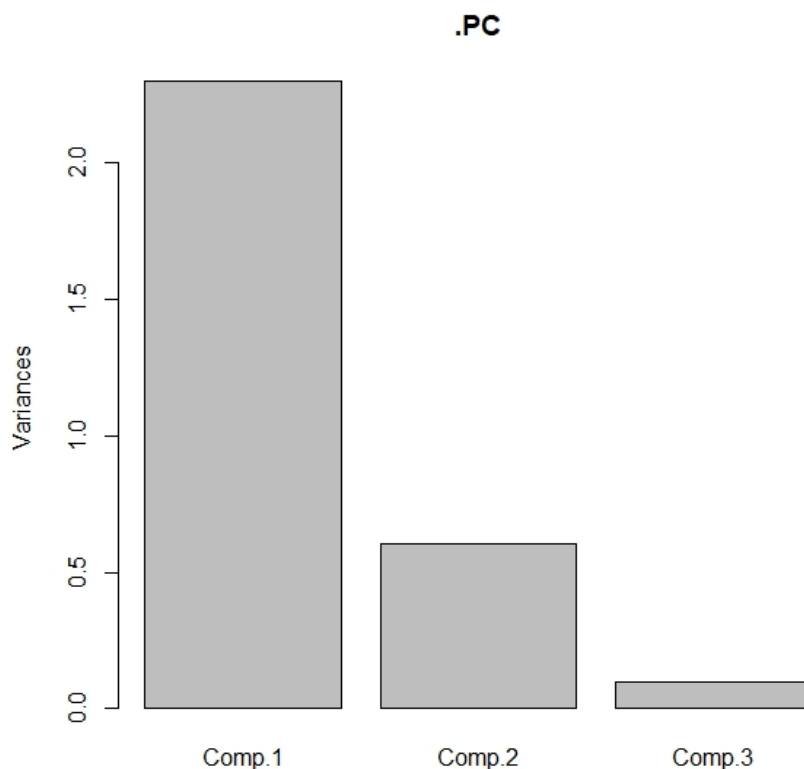


Figura 21. Análisis de Componentes Principales utilizando las variables observadas en los suelos de la RTP 105.

Component loadings:

	Comp.1	Comp.2	Comp.3
Materia orgánica	0.6261038	0.2768307	0.72894357
Nitrógeno	0.6092058	0.4098321	-0.67890055
pH	-0.4866850	0.8691389	0.08795062

Component variances:

Comp.1	Comp.2	Comp.3
2.29905226	0.60189775	0.09904999

Importance of components:

	Comp.1	Comp.2	Comp.3
Standard deviation	1.5162626	0.7758207	0.31472208
Proportion of Variance	0.7663508	0.2006326	0.03301666
Cumulative Proportion	0.7663508	0.9669833	1.00000000

Para probar que existe relación entre la calidad de suelo y servicios ecosistémicos proporcionados por este cuerpo natural en la RTP 105 se utiliza un modelo lineal general, donde la variable respuesta es el indicador de servicios ecosistémicos (puntuación de la PC1) y las variables explicativas son el tipo de calidad de suelo observada, la textura y el tipo de suelo.

Las suposiciones del modelo (independencia de las observaciones, normalidad de los errores y homogeneidad de varianza) se cumplen.

lm (formula = PC1 ~ Calidad + Textura + Tipo, data = Calidad)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.5186	-0.3954	0.0000	0.3609	2.9236

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.6847	1.4062	0.487	0.630012
Calidad[T.I]	-1.4805	0.7970	-1.858	0.073384 .
Textura[T.Arenosa]	3.8709	1.5401	2.513	0.017766 *
Textura[T.Franca]	2.8400	1.5401	1.844	0.075414 .
Textura[T.Franco]	0.7663	0.6180	1.240	0.224927
Textura[T.Franco Arcilloso]	1.4943	0.5502	2.716	0.011019 *
Textura[T.Franco Arenosa]	3.7753	0.8554	4.414	0.000129 ***
Textura[T.Franco Arenoso]	2.5000	1.3648	1.832	0.077285.
Tipo[T.Andosol]	-1.5416	1.3484	-1.143	0.262274
Tipo[T.Cambisol]	-1.7276	1.5691	-1.101	0.279943

Tipo[T.Leptosol]	-1.2664	1.5270	-0.829	0.413710
Tipo[T.Luvisol]	-1.3825	1.4092	-0.981	0.334681

Residual standard error: 1.263 on 29 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5091, Adjusted R-squared: 0.3229

F-statistic: 2.734 on 11 and 29 DF, p-value: 0.01481

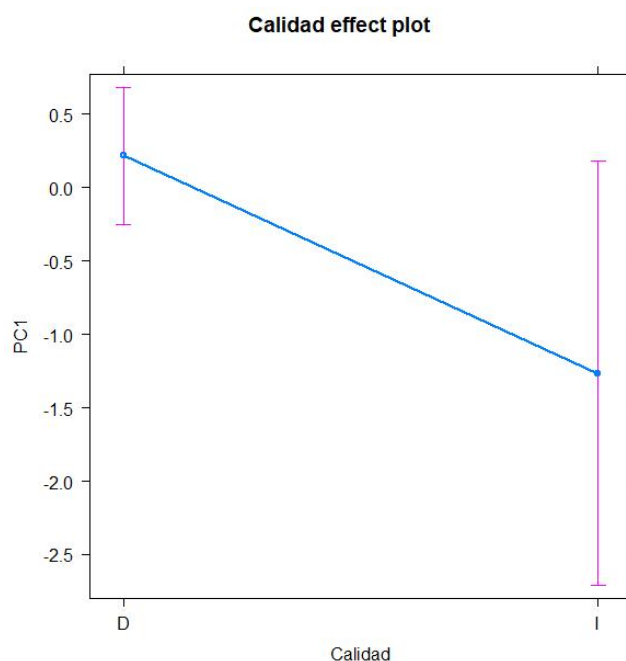
Anova(LinearModel.1, type="II")

Anova Table (Type II tests)

Response: PC1

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Calidad	5.507	1	3.4513	0.073384 .
Textura	40.674	6	4.2484	0.003454 **
Tipo	2.496	4	0.3911	0.813254
Residuals	46.274	29		

En el gráfico (figura 22) se observa la relación entre el indicador propuesto para servicios ecosistémicos (puntuación de la PC1) y la calidad del suelo en la RTP 105.



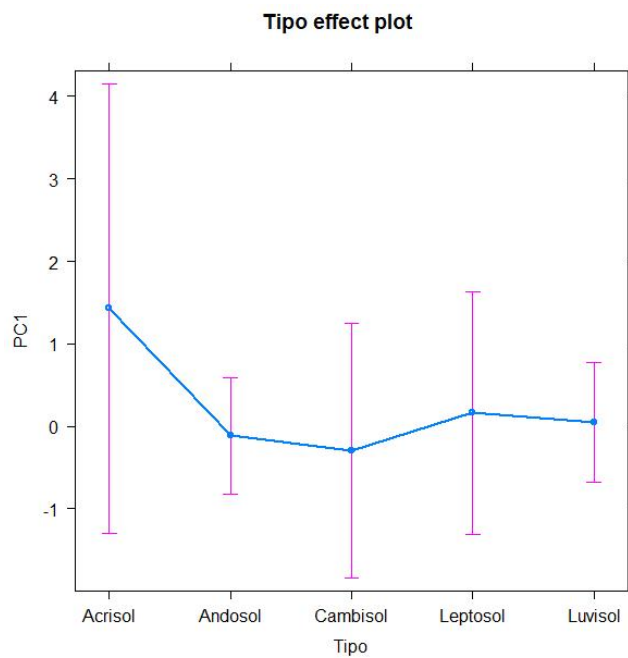
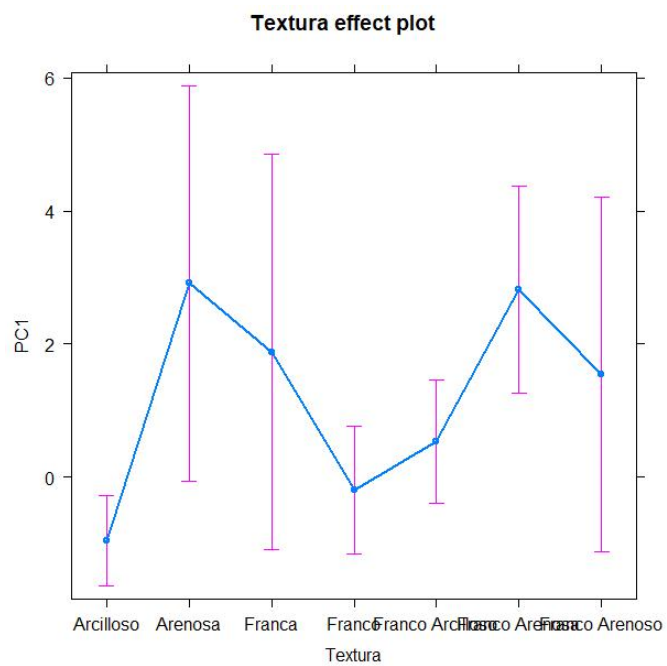


Figura 22. Grafica de análisis del Modelo Lineal General aplicado a las variables observadas en los suelos de la RTP 105.

En donde se puede apreciar que existe una relación entre el indicador de servicios ecosistémicos y las variables observadas en los suelos de la RTP 105, destacando la importancia de la textura de estos para proporcionarlos, en especial la textura franca y franco-arenosa.

Con base en la información obtenida se expresan ejemplos de 9 de los 18 servicios ecosistémicos expresados por la FAO (2020) dentro de la RTP 105, donde se muestran las relaciones observadas que se basan en la información recolectada:

- **Provisión de alimentos:** prácticamente todos los ecosistemas proporcionan las condiciones necesarias para el cultivo, la recolección, la caza o la cosecha de alimentos (FAO, 2020b), dentro de los perfiles analizados los 55 con calidad dinámica reportan algún tipo de cultivo, principalmente se tiene el registro de pastizales, agricultura de temporal (maíz, trigo, frijol, calabaza, etc.), producción cafetalera y de plantaciones de árboles frutales, muchos de ellos utilizados como insumo para la producción de vinos frutales.

La calidad dinámica está asociada a la producción agrícola. Por ejemplo, Cuetzalan tiene 6 perfiles con calidad dinámica y los mismos recaen en zonas que tienen producción de café, con una superficie cosechada de 4800 hectáreas y una producción de 8833 toneladas de café por año se destaca esta práctica como la principal actividad productiva del municipio, los estudios realizados por diversos autores indican que la mayor parte de la producción de café en la zona se produce mediante agroforestería. Sin embargo los sistemas de producción en la región son no especializados, tienen limitaciones tecnológicas y del rendimiento que obtienen, por lo que frecuentemente tienden utilizar técnicas que degradan los suelos, se reporta un uso indiscriminado de fertilizantes en casi 30% de la superficie sembrada, así como la conversión de la vegetación natural en plantaciones de este fruto (Benítez-García *et al.*, 2015), tanto en Cuetzalan como en gran parte de la RTP 105, incluidos los municipios de Atlequizayan, Ayotoxco de Guerrero

Caxhuacán, Huehuetla, Hueytamalco, Jonotla, Tenampulco, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Tuzamapan de Galeana y Zoquiapan.

Un gran porcentaje del norte de la región está destinado a la explotación agropecuaria por medio de agricultura de temporal y pastizales cultivados. En la zona noreste de la región se encuentran plantaciones de cítricos en los municipios de Acateno, Altotonga, Atzalan, Hueytamalco, Jalacingo y Tlapacoyan. Nauzontla reporta además de plantaciones asociadas al café, la producción de plantas medicinales como ajenojo, manzanilla, ruda y toronjil. De acuerdo con el INAFED (2010) casi toda la vegetación natural se ve amenazada con convertirse en zona agrícola ya los bosques desaparecen a un ritmo alarmante.

Esta situación denota que sin un adecuado manejo de la calidad dinámica los suelos de esta región están condenados a degradarse y posteriormente erosionarse, siendo la principal actividad productiva la agropecuaria significa repercusiones para la forma de vida de los pobladores y amenaza la vegetación natural remanente y la biodiversidad de la región, representada por la calidad inherente en los perfiles muestreados.

- **Provisión de materias primas:** los ecosistemas proporcionan una gran diversidad de materias, como la madera, los biocombustibles y las fibras de especies vegetales y animales cultivadas o silvestres; en la zona que presenta calidad dinámica existen aún relictos de bosque mesófilo de montaña, bosques de pino-encino, bosque de encino y vegetación secundaria de selva alta perennifolia, muchas especies forestales encontradas en esta zona son susceptibles de ser aprovechadas como recursos maderables, algo que se reporta en casi todos los municipios de la RTP 105. En Yaonáhuac, por ejemplo, se reporta la existencia de maderas consideradas preciosas (cedro y caoba) lo cual coincide con el punto de muestreo 110 que reporta una calidad inherente del suelo con cubierta de bosque mesófilo de montaña, lo que representa un riesgo de desmonte en el

municipio de no llevarse a cabo un aprovechamiento sustentable de estos recursos. De igual forma se reporta el aprovechamiento de las resinas provenientes del liquidámbar (una especie vegetal representativa del bosque mesófilo de montaña) en la zonas con cubierta vegetal de este tipo de asociación vegetal representadas por los perfiles correspondientes a calidad inherente (Quiroz Carranza & Magaña Alejandro, 2015).

En los perfiles con calidad dinámica se hace evidente el cambio de uso de suelo hacia aprovechamiento agrícola, sin embargo, la remoción de la cobertura vegetal original hace de estas zonas lugares propensos a otro tipo de explotación, como puede ser la minera. En la RTP 105, el municipio que reporta la mayor explotación minera es Teziutlán, sin embargo, la mayoría de los municipios reportan bancos de piedras para construcción, gravas, explotación de piedra caliza y arena; así como yacimientos de oro, plata, cobre, plomo, zinc y fosforita los cuales no se explotan (INAFED, 2010).

- **Regulación de clima local y calidad del aire:** los ecosistemas influyen en el clima local y la calidad del aire. Los árboles, las plantas y un suelo sano desempeñan asimismo un importante papel en la regulación de la calidad del aire mediante la eliminación de contaminantes. En la RTP 105 hay un nivel de fragmentación en la vegetación natural muy grande, existen grandes extensiones perturbadas de terreno y la vegetación natural asociada con bosques está amenazada, la calidad inherente del suelo se vincula con presencia de vegetación y por consiguiente la calidad del aire es mejor que en aquellas zonas donde la calidad del suelo se reporta como dinámica y el uso actual del suelo es de índole agropecuaria. La Agencia Europea de Medio Ambiente (2020) destaca como es que los suelos son fundamentales en la mitigación del cambio climático al ser el segundo depósito o sumidero de carbono más grande después de los océanos, haciendo énfasis en que el manejo de los suelos con calidad dinámica debe estar acompañado de prácticas que no propicien la degradación de estos.

- **Secuestro y almacenamiento de carbono:** los ecosistemas regulan el clima mundial mediante el almacenamiento de gases de efecto invernadero, el depósito terrestre más grande de carbono se encuentra en los suelos y realiza un papel fundamental en el ciclo global de este elemento, dentro del área estudiada los trabajos anteriores reportan grandes extensiones de terreno sin vegetación natural y suelos en proceso de degradación, la sobreexplotación del recurso edáfico no es favorable para este servicio ecosistémico. La materia orgánica estabilizada en los suelos es relevante en la actualidad al ser sumidero y fuente de CO₂, ya que uno de los principales problemas ambientales es el aumento abrupto de la concentración de CO₂ atmosférico debido a las actividades antropogénicas y la deforestación (Sales-Dávila, 2006). En los perfiles con calidad inherente se reportan las mayores concentraciones de materia orgánica, los cuales a su vez reportan formaciones vegetales conservadas a diferencia de los perfiles con calidad dinámica los cuales tienen la menor concentración de materia orgánica por lo que el almacenamiento de carbono en las zonas con suelos de uso agropecuario está sujeto a las prácticas de cultivo dispuestas en la zona.
- **Regulación y moderación de fenómenos extremos:** los ecosistemas y los organismos vivos crean amortiguadores contra las catástrofes naturales. Reducen los daños causados por inundaciones, tormentas, tsunamis, avalanchas, desprendimientos de tierras y sequías, en la RTP 105 se hace especial mención a los deslaves ocurridos entre septiembre y octubre de 1999, donde varios autores expresan que los acontecimientos fueron resultado en gran medida de la interacción entre las características geológicas y geomorfológicas de la región y de las actividades humanas que han alterado el medio. Haciendo evidente que las zonas con calidad dinámica las cuales perdieron la cobertura vegetal original son propensas a este tipo de fenómenos. La calidad inherente del suelo está vinculada a la

conservación de zonas boscosas que actúan como moderadoras de catástrofes.

- **Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo:** la cubierta vegetal previene la erosión del suelo y garantiza la fertilidad del suelo mediante procesos biológicos naturales como la fijación del nitrógeno. La erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación de la tierra. Los perfiles muestran un proceso de degradación principalmente debido a las actividades antropogénicas. De acuerdo con la FAO (2020) la erosión se lleva de 25 a 40 000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año, lo que reduce significativamente los rendimientos de los cultivos y la capacidad del suelo para almacenar y completar el ciclo del carbono, los nutrientes y el agua y en una zona donde la erosión hídrica es especialmente preocupante se debe hacer énfasis en llevar a cabo buenas prácticas para la conservación del suelo, así pues los perfiles con calidad inherente que reportan una cantidad mayor de materia orgánica son mucho menos propensos a la erosión de cualquier tipo a diferencia de aquellos con calidad dinámica que de no llevar a cabo prácticas que fomenten la conservación del suelo verán reducida su capacidad de ser suelos fértiles.
- **Regulación de los flujos de agua:** la regulación de los flujos de agua es un servicio clave proporcionado por la cobertura y la configuración del suelo, Diversas propiedades descritas en los perfiles de suelo como la textura y el contenido de materia orgánica están relacionadas con este servicio ecosistémico, la calidad inherente está vinculada a una mejor capacidad de infiltración de agua y en una zona que de acuerdo a lo analizado con las bases de datos y ArcGIS 10.3 presenta precipitaciones que en algunas zonas son superiores a los 3000 mm es evidente que de no tener un adecuado manejo del suelo este será incapaz de cumplir esta función propiciando situaciones adversas como desastres naturales y erosión hídrica. Los perfiles con calidad dinámica muestran poca o nula vegetación natural por lo que su

cobertura se basa en producción agrícola o pecuaria, la cual muestra una disminución en la cobertura de materia orgánica y por ende servicio ecosistémico es proporcionado en menor cantidad.

- **Hábitat para especies:** los ecosistemas proporcionan espacios vitales para las plantas y los animales; también conservan una diversidad de complejos procesos que sustentan los demás servicios ecosistémicos. En la RTP 105 se encuentran manchones de bosque mesófilo de montaña dentro de los puntos de muestreo con calidad inherente, así como dos AICA's (área de importancia para la conservación de aves) con perfiles que presentan tanto calidad dinámica como inherente. Esto sin mencionar que el suelo alberga una cuarta parte de la biodiversidad del planeta (FAO, 2020a), los puntos con calidad inherente que contiene un buen porcentaje de materia orgánica se asocian con una mayor biodiversidad del suelo.
- **Apreciación estética:** los ecosistemas son fuente de inspiración del arte, cultura y diseño; también sirven cada vez más de inspiración para la ciencia, en este sentido la apreciación estética de la RTP 105 se basa en que los ecosistemas naturales se conserven de la mejor forma posible ya que poseen características que los convierten en sitios amenazados y de distribución limitada (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014). La calidad inherente se asocia a la preservación de la vegetación natural de la región, en la RTP 105 hay una fuerte presión sobre los sitios turísticos los cuales son atractivos por la vegetación natural del área así como por la existencia de múltiples cuerpos de agua, los cuales se asocian a una buena regulación de los flujos de agua por parte del suelo, así pues la belleza escénica del lugar está ligada a la calidad inherente, por otro lado los sitios de muestreo comprendidos en la categoría de calidad dinámica significan una fuerte presión hacia el recurso suelo, poniendo en riesgo los servicios ecosistémicos culturales de la zona si no se llevan a cabo prácticas de conservación de este cuerpo natural.

VIII. CONCLUSIONES

- En el análisis de la relación entre la calidad del suelo y los servicios ecosistémicos en la Región Terrestre Prioritaria 105, se reconoce un claro deterioro en los suelos, basado en las muestras recopiladas de la región, el 82% de los perfiles corresponden a suelos con calidad dinámica, o sea modificada.
- La producción de alimento en la RTP 105 vinculada a la calidad dinámica de los suelos es el servicio ecosistémico más visible en la región
- En la zona de amortiguamiento de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves se observa fuerte presión de las actividades antropogénicas, lo que compromete la integridad funcional de los ecosistemas, tan importantes y vulnerables que se encuentran dentro de esta RTP 105, como es el bosque mesófilo de montaña y la vegetación secundaria de selva alta perennifolia.
- Se concluye que es importante revisar y actualizar la información, esto según la revisión bibliográfica, ya que los municipios de Atempán, Huitzilán de Serdán y Tetela de Ocampo no tienen presencia dentro de la región, y sí los municipios de Huehuetla, Papantla y Zozocolco de Hidalgo.
- La característica del suelo que destaca en la promoción de servicios ecosistémicos es la textura, esto de acuerdo con los resultados del ejercicio estadístico realizado.
- La textura franca o franco arenosa, que se asocia con el servicio ecosistémico de regulación de los flujos de agua, tan importante en una zona donde la compactación de este cuerpo natural propiciado por actividades agropecuarias hace que la escorrentía superficial aumente, desestabilizando

así el servicio ecosistémico de moderación de fenómenos naturales, vinculado a los deslaves ocurridos en 1999 en esta zona.

- Los suelos que aún conservan la capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos de forma integral asociados a la calidad inherente son los que proporcionan mayor regulación de los flujos de agua, característica propia de los sistemas forestales.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Améndola-Massiotti, E. H.-A. R. (2011). Concentración De Nitrógeno En Suelo Por Efecto De Manejo Orgánico Y Convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325–332.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). *REGIONES TERRESTRES PRIORITARIAS DE MÉXICO*.
- Arroyo-Rodríguez, V., Moreno, C. E., & Galán-Acedo, C. (2017). Diversidad y estructura de un pastizal en El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 42–51. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42554924004>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2014). *Día Mundial del Suelo y Año Internacional de los Suelos* (pp. 1–3). Resolución aprobada por la Asamblea General el 20 de diciembre de 2013. A/RES/68/232. <https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/RES/68/232>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (p. 40). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. A/RES/70/1. https://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1_es.pdf
- Bautista, F., Zinck, A., & Cram, S. (2010). Los suelos de Latinoamérica: retos y oportunidades de uso y estudio. *Boletín Del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica*, 2, 93–142.
- Baveye, P. C., Baveye, J., & Gowdy, J. (2016). Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4(JUN), 1–49. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>
- Benítez-García, E., Jaramillo, J., Escobedo, S., & Mora, S. (2015). Caracterización

- de la producción y del comercio de café en el Municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12(2), 181–198.
- Berlanga, H., Rodríguez-Contreras, V., Oliveras de Ita, A., Escobar, M., Rodríguez, L., Vieyra, J., & Vargas, V. (2008). *Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves*. Red de Conocimientos Sobre Las Aves de México (AVESMX). CONABIO. <http://avesmx.conabio.gob.mx/AICA.html>
- Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., & Voulvoulis, N. (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36(6), 609–622. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.010>
- Breure, A. M., De Deyn, G. B., Dominati, E., Eglin, T., Hedlund, K., Van Orshoven, J., & Postuma, L. (2012). Ecosystem services: A useful concept for soil policy making! *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.010>
- Brevik, E. C., Pereg, L., Steffan, J. J., & Burgess, L. C. (2018). Soil ecosystem services and human health. *Environmental Science and Health*, 5, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.003>
- Bruijnzeel, L. A., Burkard, R., Carvajal, A., Frumau, A., Köhler, L., Mulligan, M., Schellekens, J., Schmid, S., Tobon, C., Burke, S., Calvo-Alvarado, J., & Fallas, J. (2006). *Final Technical Report DFID-FRP Project no. R7991 Hydrological impacts of converting tropical montane cloud forest to pasture, with initial reference to northern Costa Rica*. DFID Forestry Research Programme, Vrije Universiteit.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(September 2017), 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la

- seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>.
- Ciancaglini, N. (2011). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. PROSAP.
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Estadísticas del Agua en México, edición 2016*. Comisión Nacional del Agua.
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858–1868. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>
- Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A., & Grêt-Regamey, A. (2018). Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators*, 94(June 2017), 151–169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052>
- Dzib-Castillo, B., Chantásig-Vaca, C., & González-Valdivia, N. A. (2014). Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 167–178. <https://doi.org/10.7550/rmb.38706>
- Evans, N. M. (2019). Ecosystem Services: On Idealization and Understanding Complexity. *Ecological Economics*, 156, 427–430. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.10.014>
- FAO. (2020a). *Portal de Suelos de la FAO*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- FAO. (2020b). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Fine, A. K., van Es, H. M., & Schindelbeck, R. R. (2017). Statistics, Scoring Functions, and Regional Analysis of a Comprehensive Soil Health Database.

Soil Science Society of America Journal, 81(3), 589–601.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2016.09.0286>

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Brefin, M. S., M.L., Montanarella, L., Muniz Ugarte, O., Schad, P., Rodríguez, V., M.I., & Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe* (Comisión Europea (ed.)). Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://doi.org/10.2788/37334>

González-Medrano, F. (2004). Las comunidades vegetales de México: propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. In *INE-SEMARNAT* (Segunda Ed). Instituto Nacional de Ecología.

Gual-Díaz, M., & Rendón-Correa, A. (2014). Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, ecología y manejo. In *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9830-7>

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. www.cices.eu

Haney, R. L., Haney, E. B., Smith, D. R., Harmel, R. D., & White, M. J. (2018). The soil health tool—Theory and initial broad-scale application. *Applied Soil Ecology*, 125(February), 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.035>

Harris, R. F., & Bezdicek, D. F. (1994). Descriptive Aspects of Soil Quality/Health. In *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 23–35). <https://doi.org/doi:10.2136/sssaspecpub35.c2>

INAFED. (2010). *Enciclopedia de los Municipios de México, Puebla*. Secretaría de Gobernación. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/index.html>

INEGI. (1987). *Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del estado de Puebla*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática.

INEGI. (2005). *Guía para la interpretación de cartografía : climatológica*.

- INEGI. (2008). *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2017. In *Instituto Nacional de Estadística y Geografía* (p. 940).
- IUSS Working Group WRB. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. In *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos*. <http://www.fao.org>
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4–10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- Karlen, D. L., Veum, K. S., Sudduth, K. A., Obrycki, J. F., & Nunes, M. R. (2019). Soil health assessment: Past accomplishments, current activities, and future opportunities. *Soil and Tillage Research*, 195(December 2018), 104365. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104365>
- Laishram, J., Saxena, K. G., Maikhuri, R. K., & Rao, K. S. (2012). Soil Quality and Soil Health : A Review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 38(1), 19–37.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being synthesis*. (pp. 1–43). Island Press.
- Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J.-L., Márquez-Quiroz, C., Márquez-Hernández, C., & Moncayo-Luján, R. (2015). Actividades antropogénicas, cambio climático, degradación del suelo, desertificación y enfoque de la agricultura sustentable. In *Tópicos Selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente* (Primera, pp. 53–72). Universidad Juárez del Estado de Durango.

- Muñoz-Rojas, M. (2018). Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Environmental Science Health Health*, 5, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>
- Nanzyo, M., & Kanno, H. (2018). *Secondary Minerals BT - Inorganic Constituents in Soil: Basics and Visuals*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1214-4_3
- Pavan, A. L. R., & Ometto, A. R. (2018). Ecosystem Services in Life Cycle Assessment: A novel conceptual framework for soil. *Science of the Total Environment*, 643, 1337–1347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.191>
- Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaady, E., & Karnieli, A. (2014). A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma*, 230–231, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.003>
- Perdomo, C., & Barbazán, M. (2017). *Cátedra de fertilidad: nitrógeno*. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Environmental Science and Health*, 5, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003>
- PNUMA. (2019). *Fonteras 2018/19. Nuevos temas de interés ambiental*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., & Turner, R. K. (2016). *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. Taylor & Francis Group.
- Quiroz Carranza, J. A., & Magaña Alejandro, M. A. (2015). Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: Usos actuales y potenciales. *Madera Bosques*, 21(3), 171–183. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213466>
- Rangel-Peraza, J. G., Padilla-Gasca, E., López-Corrales, R., Medina, J. R., Bustos-Terrones, Y., Amabilis-Sosa, L. E., Rodríguez-Mata, A. E., & Osuna-Enciso, T. (2017). Robust Soil Quality Index for Tropical Soils Influenced by Agricultural

- Activities. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 06(04), 199–221. <https://doi.org/10.4236/jacen.2017.64014>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad,.
- Sales-Dávila, B. (2006). *Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono*. Universidad de Sevilla.
- Schoonover, J. E., & Crim, J. F. (2015). An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154(1), 21–47. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704x.2015.03186.x>
- Segundo-Métay, I. G., Bocco, G., Velázquez, A., & Gajewski, K. (2017). On the relationship between landforms and land use in tropical dry developing countries. A GIS and multivariate statistical approach. *Investigaciones Geográficas*, 93, 3–19. <https://doi.org/10.14350/rig.56438>
- Segura-Castruita, M., Borunda, G., & Fortis, M. (2010). *El Futuro de la Ciencia del Suelo* (A. E. Hartemink (ed.)). IUSS International Union of Soil Science.
- SEMARNAT-CP. (2003). *Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000*. Memoria Nacional 2001-2002.
- SEMARNAT. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012*. SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015*. In SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2019). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2018*.

Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2018. In SEMARNAT.

Shreeja, D. (2018). *Soil Quality : Meaning , Assessment and Calculation Meaning of Soil Quality: Functions of Soil Quality: Assessment of Soil Quality*: <http://www.soilmanagementindia.com/soil-fertility/soil-quality-meaning-assessment-and-calculation>

Stevens, A. W. (2018). Review: The economics of soil health. *Food Policy*, 80(August), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.08.005>

TEEB. (2020). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Ecosystem Services. <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>

Tenorio, M. G. (2008). *Relación de las propiedades fisicoquímicas y calidad de los suelos de Tetelilla, Teziutlán, Puebla*. Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla.

UNESCO. (2010). *Servicios de los ecosistemas y bienestar humano* (pp. 1–77). Centro UNESCO del País Vasco.

Valera-Pérez, M. A. (1993). *Fisicoquímica y Mineralogía de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla*. Universidad Autónoma del Estado de México.

Vidal-Legaz, B., Maia De Souza, D., Teixeira, R. F. M., Antón, A., Putman, B., & Sala, S. (2017). Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models. *Journal of Cleaner Production*, 140, 502–515. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.077>

Williams-Linera, G. (2007). El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. In *CONABIO- INECOL*. Instituto de Ecología-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Yao, R., Yang, J., Gao, P., Zhang, J., & Jin, W. (2013). Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil and Tillage Research*, 128, 137–148.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2012.11.007>

Zúñiga, F., Huertas, J., Guerrero, G., Sarasty, J., Dörner, J., & Burbano-Orjuela, H. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociadas a los ecosistemas de Páramo , Nariño , Sur de Colombia. *Terra Latinoamericana*, 36, 183–196. <https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.363>

ANEXOS

ANEXO 1. Criterios para la evaluación de la Región Terrestre Prioritaria 105 (Arriaga *et al.*, 2000).

a) Extensión de la región. La categoría más pequeña corresponde a regiones cuya extensión conservada es menor a 1 000 ha, esta superficie se considera el área mínima por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para sus categorías de manejo I a VII (UICN, 1994). Las categorías posteriores incrementan en orden de magnitud, y hay correspondencia con los tamaños que tienen las reservas especiales de la biosfera, los parques nacionales y las áreas de protección de flora y fauna, hasta llegar a las grandes reservas de la biosfera. Los valores asignados son:

0 = <10 km² (<1 000 ha)

1 = 10 a 100 km² (1 000 a 10 000 ha)

2 = 100 a 1,000 km² (10 000 a 100 000 ha)

3 = >1,000 km² (100 000 ha)

b) Integridad ecológica funcional de la región. La integridad ecológica se considera baja cuando la presencia de plantas nativas y herbívoros silvestres medianos es escasa, así como cuando los procesos naturales de sucesión ecológica han sido alterados significativamente. Por otro lado, se considera que la integridad ecológica de una región es media cuando se mantienen en ella un número reducido de poblaciones de plantas nativas y fauna, incluyendo herbívoros de tamaño medio y vertebrados depredadores. Finalmente, la integridad ecológica de una región es alta cuando en ésta existen comunidades completas de plantas y animales, en las cuales ocurren procesos seriales de manera natural.

La integridad ecológica de un área se relaciona con la intensidad de la degradación producida por actividades humanas y que tienen como consecuencia la pérdida o transformación de sus características funcionales. Se asigna un valor mayor a las áreas con un mayor grado de conservación y los valores dispuestos son:

0 = no se conoce

1 = muy bajo

2 = bajo

3 = medio

4 = alto

c) Función como corredor biológico. Este criterio identifica la cualidad de una región de encontrarse conectada o servir de conexión con otra por cualquier medio físico, el cual permite, entre otras cosas, el movimiento de especies silvestres. El valor más alto se asigna a las regiones en las que se presenta esta función en mayor medida:

0 = no se conoce

1 = bajo

2 = medio

3 = alto

d) Presencia de fenómenos naturales “extraordinarios”. Este criterio identifica y evalúa fenómenos que ocurren en la naturaleza y que tienen un carácter “extraordinario”. Ejemplos de estos fenómenos son sitios en los que se presentan comunidades silvestres únicas, localidades de hibernación, migración o reproducción y límites de distribución de hábitats. Los valores asignados, en función a su ocurrencia en las distintas regiones, son:

0 = no se conoce

1 = poco importante

2 = importante

3 = muy importante

e) Presencia de endemismos. Este aspecto se refiere a la existencia de organismos exclusivos de un área. El nivel de endemismo de flora y fauna silvestres es un indicador relevante de la particularidad de una región. El valor asignado al

nivel de endemismo de un área tiene un significado distinto dependiendo del grupo y la categoría taxonómica de las especies involucradas. Los valores asignados son:

0 = no se conoce

1 = bajo

2 = medio

3 = alto

f) Riqueza específica. Este criterio, que suele ser relevante para la conservación, considera el conjunto de las especies y subespecies representadas en un área por los organismos que allí habitan. Debe tomarse en cuenta que el significado del valor asignado a la riqueza específica varía según el grupo taxonómico, "gremio" ecológico o tipo de ecosistema en cuestión. Como apoyo para la evaluación de este criterio, se proporcionó un mapa de distribución de puntos de colecta de especímenes por cuadrante. Dicho mapa se obtuvo de la información contenida en las bases de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la CONABIO, para los siguientes grupos: mamíferos, anfibios y reptiles, lepidópteros y plantas; definiendo los siguientes valores:

0 = no se conoce

1 = bajo

2 = medio

3 = alto

g) Centros de origen y diversificación natural. Este criterio evalúa la función que determinadas áreas han desempeñado como centros de origen y diversificación natural, es decir, áreas a partir de las cuales se han dispersado los taxa hasta alcanzar su distribución actual. Pueden ser de gran importancia para la preservación de los linajes. Los valores asignados son los siguientes:

0 = no se conoce

1 = poco importante

2 = importante

3 = muy importante

h) Centros de domesticación o mantenimiento de especies útiles. Se asigna un valor mayor a aquellas regiones que albergan germoplasma de plantas potencialmente útiles, ya sea en estado silvestre, semi-silvestre o ligado a las actuales prácticas productivas, en cantidad significativamente relevante. Los valores asignados son:

0 = no se conoce

1 = poco importante

2 = importante

3 = muy importante

Criterios de amenaza o riesgo

i) Pérdida de la superficie original. El área ocupada por ecosistemas conservados respecto al total de una región (expresada en porcentaje) es un indicador dinámico del grado de amenaza que ésta presenta. Los valores que se asignan para este criterio están en función del porcentaje de la superficie original que ha sido alterado en grado considerable. Los valores asignados son:

0 = nulo

1 = bajo (0 a 30%)

2 = medio (30 a 60%)

3 = alto (60 a 100%)

j) Grado de fragmentación de la región. Este criterio se refiere al grado de pérdida de conectividad de los ecosistemas de un área. La fragmentación de una región y la forma de las áreas remanentes están relacionadas con el incremento en los efectos de borde. Se considera que el nivel de fragmentación es bajo cuando la conectividad entre ecosistemas de una región es significativa y la dispersión y el movimiento de los organismos que habitan en ella todavía es posible a lo largo de gradientes altitudinales y climáticos. Un grado de fragmentación medio corresponde

a una región cuya conectividad ya ha sido alterada, de modo que los fragmentos de ecosistema original están poco agrupados a pesar de ello aún es posible la dispersión de los elementos bióticos menos sensibles. Cuando una región presenta superficies de hábitat remanente formadas por fragmentos muy pequeños y prácticamente sin conectividad entre ellos, le es asignado un grado de fragmentación alto. Los valores asignados son los siguientes:

0 = muy bajo

1 = bajo

2 = medio

3 = alto

k) Cambios en la densidad de poblaciones humanas. Los cambios en la densidad poblacional de una región son indicadores indirectos de la estructura productiva y los niveles de bienestar social que en ella existen. Con base en información cartográfica, se identifican localidades circunscritas en RTP que presentaron cambios en su densidad poblacional de 1980 a 1990. De acuerdo con las modificaciones a la estructura poblacional de las regiones, los valores asignados fueron los siguientes:

0 = negativo

1 = estable

2 = bajo

3 = alto

l) Presión sobre especies clave. En este documento, se considera especie clave a aquella cuya distribución determina el límite de una región de importancia para la conservación y que se caracteriza por desempeñar una función determinante dentro del ecosistema. Este criterio evalúa las actividades de explotación y extracción no controladas que ponen en riesgo la capacidad de regeneración de poblaciones de organismos de este tipo. Los valores asignados, en función a la presión que se estima que ocurre en la región, son los siguientes:

0 = no se conoce

1 = bajo

2 = medio

3 = alto

m) Concentración de especies en riesgo. La concentración de especies en riesgo en un área indica su importancia como zona de refugio, su valor como ecosistema relictos, o bien, refleja el grado de amenaza o disturbio al que están sometidos la región en general y sus componentes de flora y fauna en particular. Los valores asignados son:

0 = no se conoce

1 = bajo

2 = medio

3 = alto

n) Prácticas de manejo inadecuado. Este criterio evalúa el efecto que tienen las actividades humanas incompatibles con la conservación de una región en particular. Los valores asignados, en función del impacto que dichas actividades tienen sobre los ecosistemas, son:

0 = no se conoce

1 = bajo

2 = medio

3 = alto

Criterios de oportunidad de conservación

ñ) Proporción del área bajo algún tipo de manejo adecuado. Este criterio evalúa el porcentaje de una región en el que se aplica un esquema de manejo compatible con la conservación, ya sea bajo un área protegida en funcionamiento o bajo formas racionales de producción, como la agrosilvicultura sustentable. Los valores asignados, en función a la superficie total de la región, son:

- 0 = no se conoce
- 1 = bajo (0 a 30%)
- 2 = medio (30 a 60%)
- 3 = alto (60 a 100%)

o) Importancia de los servicios ambientales. Los ecosistemas desempeñan funciones importantes para la sociedad, como la regulación del clima, de la erosión, así como la polinización de plantas cultivadas; y son importantes para actividades sociales, como la recreación. Estas funciones tienen un valor que muchas veces no es apreciado y debe ser explotado como un argumento de convencimiento para la conservación de la biodiversidad, en concreto de regiones prioritarias para ello. A estas funciones, vistas como servicios ambientales, se les puede asignar un valor por concepto del servicio y la amplitud de su influencia. Los valores asignados son:

- 0 = no se conoce
- 1 = bajo
- 2 = medio
- 3 = alto

p) Presencia de grupos organizados. Este criterio evalúa la importancia que tiene la presencia de grupos organizados en las diferentes regiones, sean de campesinos, indígenas y asociaciones civiles u otros, que realicen, apoyen, coordinen o fomenten actividades compatibles con la conservación. Se contempla, de manera particular, la correspondencia entre los grupos étnicos originarios y las zonas de endemismo, alta riqueza de especies o domesticación de plantas, lo que constituye un factor muy importante para hacer posible el mantenimiento de la biodiversidad. Los valores asignados, en función de su presencia en la zona, son:

- 0 = no se conoce
- 1 = bajo
- 2 = medio
- 3 = alto

ANEXO 2. Valores de conservación para la RTP 105 (Arriaga *et al.*, 2000).

Información ambiental de la RTP 105	Valor
a) Diversidad ecosistémica. Bosques mesófilos y de pino. Los principales tipos de vegetación y uso del suelo y su porcentaje de superficie son: Agricultura, pecuario y forestal.....78% Bosque mesófilo de montaña.....10% Bosque de pino.....7% Otros.....5%	1
b) Integridad ecológica funcional: Se ha perdido gran parte de la vegetación original a causa de la fragmentación.	1
c) Función como corredor biológico: Información no disponible.	0
d) Fenómenos naturales extraordinarios: Información no disponible.	0
e) Presencia de endemismos: Sobre todo se presenta para las especies de plantas y vertebrados.	1
f) Riqueza específica: Sobre todo para las especies de plantas y vertebrados.	2
g) Función como centro de origen y diversificación natural: Información no disponible.	0
h) Función como centro de domesticación o mantenimiento de especies útiles: Se conoce que se utilizan varias especies vegetales.	2
i) Pérdida de superficie original: Se considera que se ha ocasionado una gran pérdida.	3
j) Nivel de fragmentación de la región: Es alta debido a la ganadería extensiva.	3
k) Cambios en la densidad poblacional: Se ha presentado disminución en la densidad de la población	0
l) Presión sobre especies clave: Información no disponible.	0
m) Concentración de especies en riesgo: Información no disponible.	0
n) Prácticas de manejo inadecuado: Principalmente representadas por la ganadería extensiva, deforestación, cultivo de árboles, uso intenso de frutales y excesivo turismo en la zona.	3
ñ) Proporción del área bajo algún tipo de manejo adecuado: No se conoce ninguna zona protegida dentro de esta región.	1
o) Importancia de los servicios ambientales: Sobre todo en cuanto al aporte de agua en las cañadas con vegetación natural y el control de inundaciones.	2
p) Presencia de grupos organizados: Entre estos se encuentran grupos ecologistas locales.	2

ANEXO 3. Geolocalización de los perfiles edafológicos recopilados.

PERFIL	X	Y			
1	646700	2183000	32	638624	2184573
2	654400	2191300	33	656215	2216483
3	650200	2192200	34	657782	2223169
4	676096	2213289	35	674900	2177500
5	680300	2201600	36	673300	2176000
6	672200	2188500	37	669552	2177245
7	645500	2183500	38	669400	2180500
8	652000	2200300	38	669400	2182100
9	650700	2200500	38	668458	2182063
10	654212	2212959	39	666300	2175500
11	651400	2210300	40	666400	2176800
12	644800	2206300	41	668100	2179900
13	646700	2199800	42	657800	2185600
14	661068	2203827	43	660700	2179400
15	663847	2211233	44	674000	2196800
16	684956	2227527	45	674300	2194400
17	683429	2226373	46	670500	2194800
18	667362	2235867	47	672600	2201700
19	666922	2230327	48	670000	2189800
20	667700	2187900	49	669500	2188300
20	667247	2186972	50	670800	2189200
25	634702	2202560	51	668600	2191000
26	641300	2207200	52	671300	2194500
27	633308	2194678	53	674947	2191382
28	640926	2195229	58	662800	2179500
29	653500	2179500	59	660100	2176600
30	669200	2178400	60	657500	2180900
31	635823	2185350	61	656600	2182300
			62	655700	2179400

63	649500	2179000
64	647500	2176000
65	642200	2180500
66	643027	2179780
67	645191	2178876
68	644398	2179670
69	644383	2181544
70	643710	2181938
71	644100	2182600
72	643400	2184500
73	648700	2187000
74	646570	2188111
75	646600	2189100
77	646400	2187800
79	651200	2178300
80	679300	2186300
81	677400	2185000
82	675300	2181200
83	675300	2186300
84	671300	2179800
86	672800	2181000
87	671100	2185000
88	652300	2182700
89	651000	2185500
90	655700	2190300
91	645200	2189000
92	662000	2178000
93	662500	2185100
95	650600	2191700
96	645500	2177500
97	644500	2177600

98	645500	2180500
99	648800	2181600
100	655300	2184500
101	648300	2201800
103	663700	2180000
104	663800	2191100
105	655700	2193500
106	656500	2198000
107	661818	2198991
108	662500	2200200
109	659000	2195300
110	660700	2201300
111	664700	2196800
112	666600	2193600
113	664600	2193800
117	647500	2206300
118	649400	2199000
119	653140	2212550
120	659999	2215810
121	658654	2213430
122	645000	2202800
ID1	668500	2178350
ID2	673250	2176800
ID3	672500	2176100
ID4	667000	2181000
ID5	655300	2179650
ID6	650100	2178850
ID7	670050	2179750
ID8	673000	2188700
ID9	667450	2186650
ID10	668850	2185825

ID11	659500	2201200	16A	645789	2204084
ID12	664850	2196150	17A	644108	2202713
ID13	651925	2198525	18A	640363	2205638
ID14	680200	2202350	19A	639773	2206787
ID15	650500	2200625	20A	643551	2207260
ID16	651500	2210250	21A	640762	2209299
ID17	674000	2197000	22A	640347	2209620
ID18	675200	2183750	23A	640623	2208932
ID19	675200	2187900	24A	640020	2208590
ID20	662250	2184575	25A	641640	2209711
ID21	644248	2208426	26A	641610	2205750
ID22	644814	2209768	27A	641070	2205240
ID23	642031	2208464	28A	641980	2206130
ID24	640723	2205055	29A	642010	2206860
ID25	642927	2204916	30A	642520	2206320
ID26	642904	2205758	31A	638040	2206160
1A	643489	2202710	32A	642550	2205180
2A	641815	2203172	33A	641260	2204730
3A	644849	2203296	34A	643205	2207577
4A	641015	2204110	35A	644588	2209352
5A	640816	2204716	36A	638592	2205193
6A	640198	2207101	37A	638772	2205847
7A	640985	2207946	38A	639176	2204841
8A	641335	2208473	39A	640801	2203712
9A	644690	2204656	40A	642080	2209159
10A	641372	2203556	41A	643549	2208504
11A	639883	2206103	42A	642146	2208470
12A	639247	2206903	43A	643190	2208872
13A	639902	2207845	44A	640359	2210061
14A	644050	2208021	45A	643906	2208449
15A	645305	2204270	46A	641895	2208361

47A	640508	2208665
48A	641736	2208104
49A	643203	2208863
50A	644265	2208419
51A	642733	2207651
52A	641209	2208785
53A	639754	2208437
54A	642676	2208434
55A	640514	2208654
56A	639364	2205792
57A	639808	2205401
58A	641687	2205348
59A	642412	2206826
60A	639860	2207417
61A	642279	2209593
62A	642734	2205590
63A	643191	2208115

64A	640640	2208357
65A	642412	2208008
66A	642923	2207364
67A	641365	2209136
68A	640668	2205832
69A	643828	2204198
70A	639619	2208034
71A	641042	2206101
72A	643912	2200719
73A	638894	2206746
74A	642385	2208975
75A	644288	2208423
76A	644686	2209674
77A	642031	2207806
78A	640698	2205052
79A	642927	2204916