



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
COLEGIO DE INGENIERIA AMBIENTAL

TESIS

*Análisis químico sobre 4 parcelas representativas de suelo
bajo prácticas de monocultivo en la localidad de
Otzolotepec, Huehuetlán el Grande, Puebla.*

PRESENTA

MARIA KAREN LÓPEZ LÓPEZ

DIRECTORA DE TESIS

DRA. JANETTE ARRIOLA MORALES

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. OCTAVIO OLIVARES XOMETL

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

FECHA: DICIEMBRE 2024

INDICE

TÍTULO	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVO ESPECÍFICO	4
HIPÓTESIS	4
Nula:.....	4
Alternativa:	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	7
Concepto de suelo	7
¿Cómo se forma el suelo?	7
Servicios ambientales del suelo	8
Fertilidad del suelo	9
Estabilidad Estructural	9
La vegetación y la materia orgánica.....	10
Efectos de la biota sobre el suelo	12
Capacidad de uso de los suelos	12
Suelos de México.....	13
Principales grupos de suelos en la mixteca poblana.....	14
Agricultura y grupos de suelos.....	16
Degradación de los suelos	17
Degradación química del suelo en México.....	18
Prioridades para el manejo sostenible de suelos	19
Rotación de cultivos	19
Agricultura de conservación.....	20
Cultivos de cobertura	21
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA.....	23
2.1. Ubicación del sitio de estudio.....	23
Extensión	25

Orografía.....	26
Hidrografía.....	27
Clima.....	28
Principales ecosistemas	29
Tipos de suelo	30
Uso de suelo y vegetación.....	32
Zona urbana	33
Actividades económicas	34
Actividades agrícolas.....	36
2.2 Actividades de campo	40
Selección de la zona de estudio	40
Muestreo de suelo	40
Parcelas muestreadas	41
2.3 Análisis químico de los suelos	43
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
Determinación de color	48
Extracto de saturación	48
Determinación de carbonatos	48
Determinación de bicarbonatos	49
Determinación de cloruros	50
Determinación de calcio.....	51
Determinación de magnesio	52
Determinación de acidez extraíble	53
Determinación de capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	55
CONCLUSIONES.....	57
REFERENCIAS.....	62

TÍTULO

Análisis químico sobre 4 parcelas representativas de suelo bajo prácticas de monocultivo en la localidad de Oztolotepec, Huehuetlán el Grande, Puebla.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la comunidad de Santa Ana Oztolotepec, municipio de Huehuetlán el Grande, una de las actividades económicas más importantes es la agricultura, siendo los productos agrícolas de mayor importancia: maíz, frijol, verduras y hortalizas, y huertos frutales, aunque el desconocimiento de prácticas y métodos de conservación del suelo ha provocado el deterioro y pérdida de la fertilidad exigiendo cada vez más agroquímicos.

Como consecuencia de esta situación muchos productores optan por rentar sus terrenos para siembra de agave o maguey pues esta planta requiere menos cuidado y es menos susceptible a plagas en comparación con cultivos de verduras y hortalizas; en el peor de los escenarios los agricultores deciden dejar de sembrar para dedicarse a otra actividad económica. Trabajos de albañilería y construcción, y artesanía pirotécnica son otras 2 actividades que los habitantes realizan como fuente principal de ingresos económicos.

Agricultores de esta comunidad preocupados por la fertilidad de sus terrenos se cuestionan: ¿Qué está pasando con sus terrenos? ¿Qué medidas de prevención deben tomar para evitar pérdidas en sus cosechas? ¿Qué métodos o prácticas pueden seguir para mantener la fertilidad de sus terrenos?

JUSTIFICACIÓN

El suelo, al ser un recurso no renovable, es vital su cuidado, pero el desconocimiento o desinformación sobre el deterioro de este recurso ha provocado la pérdida de la fertilidad de los terrenos de cultivo de Santa Ana Oztolotepec, por lo que agricultores de la misma comunidad preocupados por la fertilidad de sus terrenos y calidad de sus productos, buscan métodos que puedan aplicar para frenar el deterioro del suelo en sus cultivos.

El siguiente trabajo analiza un caso de estudio particular. Conocidos de la comunidad dedicados a la actividad agrícola y el comercio de sus productos, trabajan sus terrenos bajo un sistema tradicional de monocultivo. A través de un análisis químico sobre 4 parcelas de cultivo se evaluará la calidad del suelo en cuanto a su rendimiento actual y los efectos que tiene dicho sistema en la abundancia y disponibilidad de los elementos fundamentales. El propósito es encontrar evidencias de la eficacia o deficiencia del monocultivo que justifique la transición a prácticas sostenibles que aseguren la productividad de los terrenos de cultivo y al mismo tiempo la conservación del suelo.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar 4 parcelas representativas de la zona de estudio a través de análisis químicos en el municipio de Santa Ana Otzolotepec.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar un análisis químico (carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, cloruros, acidez extraíble y capacidad de intercambio catiónico) y color para evaluar la calidad del suelo y los efectos que tiene la práctica de monocultivo.

HIPÓTESIS

Nula:

El monocultivo no deteriora las propiedades químicas del suelo y no compromete la fertilidad y productividad en los terrenos de cultivo de Santa Ana Otzolotepec.

Alternativa:

El monocultivo deteriora las propiedades químicas del suelo y como consecuencia, compromete la fertilidad y productividad en los terrenos de cultivo de Santa Ana Otzolotepec.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable cuyo proceso de formación se toma cientos de años. Son una parte fundamental en el equilibrio de los ecosistemas: funciona como filtro y amortiguador al retener sustancias, protege las aguas subterráneas y superficiales contra la penetración de agentes nocivos y transforma compuestos orgánicos descomponiéndolos o modificando su estructura consiguiendo la mineralización. Proporciona materias primas renovables y no renovables de utilidad para el ser humano. La intervención humana ha alterado los ciclos biogeoquímicos de los suelos con actividades productivas intensas como la ganadería y las prácticas agrícolas o forestales inadecuadas. La expansión de las ciudades ha provocado su contaminación. El ritmo actual de degradación que sufren los suelos amenaza la capacidad de este recurso para satisfacer las necesidades de las futuras generaciones. La salud del suelo es necesaria para que tengamos alimentos y para que los bosques, selvas, manglares y zonas áridas nos proporcionen sus bienes y servicios (SEMARNAT, 2015).

De acuerdo con lo indicado en el glosario de Agricultura de la FAO, el monocultivo se refiere al cultivo especializado de una planta en una explotación agrícola (generalmente plantas grandes) y la siembra del mismo cultivo año tras año, sin rotación de cultivos ni periodos de barbecho. El terreno recibe el mismo tratamiento en riego, abono, luz, tiempo de recolección, entre otros (García y Aguilera, 2023). Este sistema de producción agrícola trae consecuencias poco favorables para la producción y el medio ambiente. El monocultivo fomenta el incremento de malezas, plagas y enfermedades que, con el tiempo, se vuelven resistentes a los métodos de control conocidos, hasta recurrir a soluciones más agresivas y costosas (SEMARNAT, 2024) Finalmente, los monocultivos conllevan a la aniquilación de la biodiversidad, la contaminación por fertilizantes, pesticidas, el desmonte y deforestación (Moreno, Villadiego y Castro, 2019).

Los estudios o análisis de suelos son una actividad importante para medir y proporcionar soluciones a problemas relacionados con la calidad del suelo, y una útil herramienta cuando se desean obtener altos rendimientos en los cultivos. Este instrumento ayuda a indicar la capacidad del suelo para funcionar en usos determinados y detectar la tendencia si los actuales sistemas de manejo están conservando, mejorando o degradando el suelo (USDA, 1999). Por último, los análisis de suelos se necesitan para la clasificación de tierras y zonificación rural, así como para suministrar a un país el inventario del recurso para que el plan de acción pública pueda conducirse y administrarse (Izaguirre, 2012).

En la localidad de Santa Ana Otzolotepec, Huehuetlán el Grande, la principal actividad económica es la agricultura. Sin embargo, el desconocimiento sobre la conservación del suelo y la práctica habitual del monocultivo han ocasionado cada vez más la pérdida de terrenos de cultivo. Por lo que se consideró realizar un análisis químico sobre 3 superficies de cultivo activas y una superficie sin cultivar para determinar ciertas propiedades químicas y evaluar la calidad del suelo. El propósito es orientar a los productores, con base en los resultados del análisis, en los efectos que tiene el monocultivo.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

Concepto de suelo

La definición de suelo depende del área de interés que se involucra con él. Desde una visión geotécnica, es el material sin consolidar que se encuentra sobre el lecho rocoso. Para la ingeniería civil es el material sobre el que se construye y excava, siendo sus propiedades determinantes para el tipo y características de la obra a construirse (SEMARNAT, 2013).

Desde el punto de vista agrícola, el suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra y que es explotada por las raíces de las plantas y a partir de la cual obtienen sostén, nutrimentos y agua. Desde el punto de vista ambiental, existen definiciones fundamentales en los procesos ecosistémicos, por las funciones y servicios que realiza como la regulación y distribución del flujo de agua o como amortiguador de los efectos de contaminantes (SEMARNAT, 2013).

A partir de su origen y de los factores ambientales, la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés), lo define como la capa superficial de material mineral y orgánico, no consolidado, que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota, material parental y tiempo) y que debido a la interacción de éstos, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó. Por ello, el suelo ya no es roca ni sedimento geológico, sino un producto proveniente de las alteraciones e interacciones que experimentan estos materiales (Sumner, 2000, como se citó en SEMARNAT, 2013).

¿Cómo se forma el suelo?

El proceso de formación del suelo comienza con la desintegración de la roca madre que está expuesta en la superficie de la corteza terrestre a partir del rompimiento físico y químico ocasionado por las lluvias, el viento, la exposición al sol y la actividad mecánico biológico de las raíces de las plantas. En el caso de la actividad biológica, las cianobacterias y los líquenes son los primeros colonizadores del sustrato rocoso, liberan ácidos orgánicos débiles, como el ácido carbónico, que disuelve lentamente la roca madre. El efecto mecánico del crecimiento de las raíces acelera la ruptura de las rocas, además de que la presencia de las plantas permite

una gran actividad de micro y meso organismos y la acumulación de materia orgánica en diferentes estados de descomposición, la cual también contribuye a la formación del suelo. Aunque el suelo está en constante formación, el proceso es sumamente lento. Se calcula que para tener un centímetro de suelo en la capa superficial se necesitan de 100 a 400 años, por lo que el suelo es un recurso natural no renovable en la escala de tiempo humana (SEMARNAT, 2013).

Servicios ambientales del suelo

De acuerdo con la SEMARNAT (s.f.), son los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas. Comúnmente se clasifican en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo, al formar parte de los ecosistemas, contribuye a dar servicios ambientales, principalmente de las primeras tres categorías, indispensables para el sustento de la humanidad. Entre estos servicios se encuentran:

- **Servicios de soporte:** El suelo provee una gran variedad de microambientes para las bacterias, protozoarios, artrópodos y nematodos que están involucrados en el reciclaje de la materia orgánica y en la continuidad de los ciclos biogeoquímicos. El suelo es el sustrato donde las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico que después usan las plantas, y es uno de los principales reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres. Los suelos contienen mucho más carbono que el que se encuentra en la vegetación y cerca de dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera (FAO, 2004) Esta captura reduce su liberación a la atmósfera como CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero (SEMARNAT, s.f.).
- **Servicios de regulación:** el suelo tiene la capacidad de filtrar, desactivar o retener compuestos potencialmente tóxicos que pudieran llegar a las aguas subterráneas o afectar las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Además de que la actividad microbiana y las interacciones químicas entre las partículas de arcilla y materia orgánica, pueden ayudar a degradar o desactivar estos compuestos. También interviene en la regulación climática en el ciclo hidrológico, y por su capacidad de absorber y emitir calor (SEMARNAT, s.f.).
- **Servicios de provisión:** se obtienen del suelo de manera indirecta, y tienen que ver con la producción de biomasa vegetal (alimentos) para el consumo humano y animal o para la producción de combustibles y textiles. El suelo aloja también 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 (SEMARNAT, s.f).

Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo se define como su estado en relación con la capacidad que posee de suministrar elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, sin presentar concentraciones tóxicas de ningún elemento. Tanto las necesidades de elementos esenciales como la tolerancia a elementos tóxicos varían con el tipo de planta, por lo que el nivel de fertilidad no puede expresarse solamente con relación al suelo, sino que debe referirse también al cultivo. Suelos aparentemente infértiles para un determinado cultivo pueden ser muy productivos cuando se cultivan otros tipos de plantas (Ansorena, 2005).

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas (capacidad de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos), químicas (capacidad para suministrar los nutrientes apropiados, en cantidades adecuadas y balanceadas) y biológicas (vinculado con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos) del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Solís, 2011).

Estabilidad Estructural

Esta propiedad es la que define en gran medida, la intensidad, el tipo de uso y manejo y, desde el punto de vista del manejo intensivo del suelo, es una de las propiedades que mejor deben conocerse, ya que es la que más determina su resistencia al deterioro y a la erosión (Jaramillo, 2002).

Los principales agentes que alteran la estructura son las gotas de lluvia, la mecanización, la presencia de ciertos cationes como el sodio, las condiciones inadecuadas de humedad y el déficit de coloides en el suelo, etc. (Jaramillo, 2002).

Respecto de la estabilidad estructural de un suelo: A mayor contenido de arcilla y de materia orgánica, hay mayor estabilidad (Ingelmo y Cuadrado, 1986, como se citó en Jaramillo, 2002); a menor laboreo y mayor población microbiana, mayor estabilidad (Utomo y Dexter, 1982, como se citó en Jaramillo, 2002), a mayores revestimientos de los peds con óxidos de hierro y aluminio, mayor estabilidad (Sánchez, 1981, como se citó en Jaramillo, 2002).

La vegetación y la materia orgánica

La vegetación es la que tiene mayor influencia sobre el desarrollo del suelo. Controla el aporte de materia orgánica en él, tanto en cantidad como en la calidad o tipo de materiales adicionados. La cantidad de materia orgánica que se aporta al suelo es bastante variable y depende sensiblemente del tipo de cobertura vegetal (Jaramillo, 2002).

La materia orgánica aporta energía y alimento a los organismos del suelo para la formación de coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo. La siguiente tabla muestra los materiales orgánicos que se agrupan de acuerdo con su grado de transformación (Jaramillo, 2002).

Tabla 1.

Principales grupos de materiales orgánicos del suelo.

Materia orgánica fresca (MF) {Órganos}	Materia orgánica no húmica (MNH) {Compuestos químicos simples}	Materia orgánica húmica (MH) {Coloides orgánicos}
Hojas	Celulosa (15-60 %)	Ácido fúlvico
Tallos	Hemicelulosa (10-30 %)	Ácido himatomelánico
Raíces	Lignina (5-30 %)	Ácido húmico
Flores	Azúcares, aminoácidos y ácidos alifáticos (5-30 %)	Humina
Frutos	Grasas, aceites, ceras, resinas y otros pigmentos (1-8 %)	
	Proteínas (1-15 %)	

Nota. No hay ninguna correspondencia horizontal. Adaptado de *El Suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos*, Burbano, 1989, Universidad de Nariño.

Durante las reacciones de descomposición de los restos orgánicos se produce una oxidación rápida y violenta (exotérmica) de estos con una consecuente liberación de elementos nutritivos para la planta, principalmente NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , además de agua y CO_2 (Jaramillo, 2002).

Después de que pasa esta primera etapa de alteración y, dependiendo de las condiciones ambientales y de la calidad de la materia orgánica aportada, el proceso de transformación tiene dos posibles vías: La mineralización, con un aporte intenso de nutrientes y un bajo aporte de materiales susceptibles de ser humificados; y la humificación, con un aporte pobre de nutrientes, pero con un alto suministro de

materiales disponibles para la polimerización y acumulación en el suelo como humus (Jaramillo, 2002).

El buen suministro de oxígeno, así como las altas temperaturas (dentro del rango mesotérmico), el buen contenido de humedad, la adecuada fertilidad del suelo y los residuos orgánicos poco lignificados, con relación C/N baja, favorecen la mineralización y reducen la acumulación de materia orgánica en el suelo; por el contrario, cuando hay déficit de oxígeno, baja temperatura, materiales leñosos (relación C/N alta) y exceso de humedad (deficiente aireación). Aun así, es importante aclarar, que los procesos de descomposición, mineralización y humificación, normalmente, se presentan simultáneamente en el suelo (Jaramillo, 2002).

Así, la materia orgánica, en todas sus diferentes formas, tiene efectos marcados en casi todas las propiedades del suelo como:

- **Color:** La acumulación de humus, le transmite su color oscuro. Este color promueve la absorción de radiación y su calentamiento, mejorando la eficiencia de los procesos químicos que se llevan a cabo en el suelo.
- **Humedad:** Al aumentar el contenido de humus, se incrementa la cantidad de agua que puede almacenar el suelo, sobre todo si es un suelo arenoso; mejora la infiltración y ayuda en la reducción de pérdidas de agua por evaporación, todo lo anterior contribuye a la evolución del suelo.
- **Estructura:** La acumulación de humus favorece la formación de agregados grandes y estables. Con esto se mejoran la aireación, la porosidad, la permeabilidad, la velocidad de infiltración, el drenaje y el desarrollo radicular; reduciendo así la susceptibilidad del suelo a la erosión y densidad aparente.
- **CIC:** Su valor se incrementa en el suelo al aumentar el contenido de materia orgánica, debido a que la humificación incrementa el número de grupos carboxilo (-COOH) y fenólicos (-OH) que pueden disociarse, adquiriendo cargas negativas. Al aumentar la CIC, se reducen y hasta se evitan las pérdidas por lixiviación.
- **pH:** Su valor puede disminuir al aumentar el contenido de humus y por la disociación de grupos funcionales de la materia orgánica, aumentando la acidez del suelo.
- **Compuestos órgano-minerales:** El humus puede unirse a coloides inorgánicos, formando complejos órgano-minerales de diferente grado de estabilidad (Jaramillo, 2002).

Efectos de la biota sobre el suelo

Los organismos vivos del suelo cumplen variados papeles en la evolución y en las características de este. Además, participan activamente en su ecología y en sus posibilidades de uso:

- Aportan materia orgánica al suelo, y es el tipo de material que más rápidamente se incorpora al mismo (CAB Internacional, 1993, como se citó en Jaramillo, 2002).
- Forman y estabilizan la estructura del suelo, especialmente los hongos con su micelio, y los exudados y metabolitos microbiológicos.
- Intervienen en los procesos de transformación de la materia orgánica del suelo mediante la producción de enzimas.
- Ejercen control sobre las poblaciones de microorganismos en el suelo, manteniendo el equilibrio microbiológico del suelo.
- Algunos microorganismos pueden alterar algunos minerales (Jaramillo, 2002).

La fauna del suelo es fundamental en la transformación y translocación de la materia orgánica, y en la trituración y adecuación de ella, para que los microorganismos puedan realizar su mineralización y/o humificación. Además, estos organismos sobre el suelo son aporte de abundantes cantidades de biomasa que incrementan notablemente la cantidad y variedad de la materia orgánica en él. Y la fauna lleva a cabo otras acciones como son:

- Mejorar la agregación y, consecuentemente, la aireación y la infiltración, sobre todo aquellos individuos de mayor tamaño.
- Transportar materiales orgánicos al interior del suelo: Lombrices, hormigas, termitas.
- Transportar materiales desde el interior hacia la superficie del suelo, generando reciclaje de elementos.
- Mantener el equilibrio de las poblaciones de otros organismos (ciempiés, arañas, escorpiones, etc.) (Jaramillo, 2002).

Capacidad de uso de los suelos

La declaración “capacidad de uso de los suelos” significa cómo emplear los suelos para su mejor aprovechamiento durante un período más largo. Es la mejor manera de usar los suelos según las posibilidades que presentan como susceptibles de cultivo, ya sea con cultivos anuales, pastos o bosques o quizá puedan ser

inapropiados para cualquier propósito agrícola, de pastoreo o forestal (SARH, 1891, como se citó en Izaguirre, 2012).

Los suelos arables se asocian de acuerdo con sus potencialidades y limitaciones para mantener la producción de los cultivos comunes que no requieren acondicionamiento o tratamiento especial del lugar. Los suelos no arables (suelos inapropiados para mantener cultivos por largo tiempo) se agrupan según sus potencialidades y limitaciones para la producción de vegetación permanente y según sus riesgos de deterioro por mal manejo (INEGI, 2005).

La organización por capacidad (unidades, subclases y clases) se basa en los efectos combinados del clima y las características permanentes del suelo por sus riesgos de deterioro, limitaciones en su uso, capacidad productiva y requerimientos de manejo (Izaguirre, 2012).

La inclinación, textura, profundidad del suelo, efectos de erosiones anteriores, permeabilidad, volumen de retención de humedad, tipo de minerales de la arcilla y algunos otros factores similares, son considerados como cualidades y características permanentes del suelo (SARH, 1977, como se citó en Izaguirre, 2012).

Suelos de México

En México existe una gran diversidad de suelos dada la interacción de diversos factores, entre los que se encuentran la compleja topografía originada por la actividad volcánica del Cenozoico, el amplio gradiente altitudinal (que va de los cero a poco más de 5 600 metros sobre el nivel del mar), la presencia de cuatro de los cinco grandes tipos de climas reconocidos por la clasificación de Köppen, y la enorme diversidad paisajística y de tipos de rocas que existen en el territorio (SEMARNAT, 2013).

De acuerdo con el INEGI (2007), en México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Dominan los Leptosoles (28.3% del territorio), Regosoles (13.7%), Phaeozems (11.7%), Calcisoles (10.4%), Luvisoles (9%) y Vertisoles (8.6%) que, en conjunto, ocupan 81.7% de la superficie nacional (SEMARNAT, 2013).

En el 52.4% del territorio nacional hay suelos someros y poco desarrollados: Leptosoles (54.3 millones de ha), Regosoles (26.3 millones) y Calcisoles (20 millones), lo cual dificulta su aprovechamiento agrícola y aumenta su vulnerabilidad

a la erosión. Por otro lado, el 29.3% del territorio del país lo ocupan los suelos con mayor fertilidad: Phaeozems, Luvisoles y Vertisoles (22.5, 17.3 y 16.5 millones de ha, respectivamente), y el resto del territorio (alrededor de 35 millones de ha) lo cubren los otros 20 grupos edáficos (SEMARNAT, 2013).

En las últimas décadas, la intensidad en el desarrollo agropecuario del país determinó que los suelos más fértiles y profundos, con buena estructura y alto contenido de nutrimentos y materia orgánica tuvieran mayor demanda. Entre la mitad de los años 70 y finales de la primera década del siglo XXI, el porcentaje de Luvisoles, Vertisoles y Phaeozems dedicados a las actividades agropecuarias pasó de 35.8% (24.1% dedicado a la agricultura y 11.7% en pastizales para la ganadería) a 44.4% (29.6% en agricultura y 14.8% en pastizales). En menor magnitud, los suelos que se consideran poco aptos para la agricultura o la ganadería (como los Leptosoles, Regosoles y Calcisoles) también han sido utilizados para estos fines. A mitad de los 70, el 9.9% de la superficie nacional de este conjunto de suelos se dedicaba a actividades agropecuarias, mientras que, a finales de la primera década del siglo XXI, esta cifra aumentó a 14 % (7.4% en agricultura y 6.6% en pastizales) (SEMARNAT, 2013).

Principales grupos de suelos en la mixteca poblana

La Mixteca Poblana, alcanza una superficie de 11,025 km abarcando el 32,5% de la superficie total de la provincia; actividades como la producción vegetal, el tejido de palma, la ganadería y actualmente el cultivo del agave mezcalero, son los recursos con alto potencial económico para las familias de la región Mixteca (Mora, 1987; INEGI, 2000; Ibarra, 2002, como se citó en Hernández, J., Franco, F., et al., 2011). Las acciones agrícolas y ganaderas son el eje común de desarrollo en la mayor parte de la Mixteca Poblana; donde son necesarias para cubrir las necesidades de autoconsumo dentro de la comunidad a pesar del bajo poder adquisitivo familiar (INEGI, 2000, como se citó en Hernández, J., Franco, F., et al., 2011).

La clase textural media predomina con un 65%, que corresponde a 2,227,245 ha., distribuidas a lo largo de todo el territorio poblano y, la textura fina con el 12.9% correspondiendo a 442,608 ha., distribuidas en partes del norte y sur del territorio. Desde el punto de vista orgánico, la fertilidad de los suelos agrícolas varía de media a baja; el manejo al que han sido sujetos los ha empobrecido. En general hay disponibilidad de elementos esenciales, pero en el caso de Andosoles existe una retención del fósforo aprovechable por las plantas. Actualmente la mayor parte de los suelos agrícolas del estado son continuamente fertilizados en favor de obtener cosechas de forma regular (CONABIO, 2011).

Los suelos predominantes en la zona son Leptosoles, Regosoles (que, junto con los Phaeozems y Andosoles, ocupan el 69.1% del territorio poblano), Luvisoles y Cambisoles (que, junto con los Vertisoles, Arenosoles, Fluvisoles, Calcisoles y Durisoles, ocupan el 24.2% del territorio poblano), caracterizados por una fase lítica. También se presentan Fluvisoles con fase gravosa en las riberas de algunos ríos. El origen de los suelos está dado principalmente por la abundancia de esquistos, calizas, areniscas y lutitas (Guizar, Granados y Castañeda, 2010, y CONABIO, 2011).

Leptosoles (del griego *leptos*, delgado), también llamados Litosoles y Redzinas, son suelos muy delgados, pedregosos y poco desarrollados que pueden contener una gran cantidad de material calcáreo. Son los suelos de mayor distribución a nivel mundial y están asociados a sitios de compleja orografía, lo que explica su amplia distribución en México. Su potencial agrícola está limitado por su poca profundidad y alta pedregosidad, lo que los hace difíciles de trabajar. Aunado a ello, el calcio que contienen puede inmovilizar los nutrientes minerales, por lo que su uso agrícola es limitado si no se utilizan técnicas apropiadas, por ello, es preferible mantenerlos con la vegetación original (SEMARNAT, 2013).

Regosoles (del griego *reghos*, manto), también conocidos como Entisoles. En general, son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado, de colores claros y pobres en materia orgánica. Están en todos los climas, excepto en zonas de permafrost, y en todas las elevaciones, y son comunes en las regiones áridas, semiáridas (incluyendo los trópicos secos) y montañosas. Los Regosoles de zonas áridas tienen escasa vocación agrícola, aunque su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables (FAO, 2001, como se citó en SEMARNAT, 2013).

La vocación de estos suelos es variada y está relacionada con la diversidad ecológica que se presenta; algunos sustentan pastizales cultivados e inducidos, agricultura de temporal y en algunas zonas, bosques de pino y vegetación secundaria de selva baja caducifolia (CONABIO, 2011).

Luvisoles (del latín *luere*, lavar) son suelos que se encuentran sobre una gran variedad de materiales no consolidados. Son muy comunes en climas templados y fríos o cálidos húmedos con estacionalidad de lluvia y sequía. Son comunes en bosques de coníferas y selvas caducifolias del sur del país. Son los suelos más fértiles, su uso agrícola es muy elevado y cubre, por lo general, la producción de granos pequeños, forrajes y caña de azúcar (SEMARNAT, 2013).

Los Cambisoles son de color intenso por la acumulación de arcillas y óxidos de hierro, en condiciones favorables de humedad y de aportes de materia orgánica, pueden alcanzar un espesor considerable y resultar muy fértiles. Sin embargo,

pueden degradarse fácilmente si desaparece la cubierta vegetal (IGN, 2009). Son cerca del tercio restante de la superficie nacional (SEMARNAT, 2013).

La agricultura ocupa el mayor porcentaje de superficie, ya que tiene un 48.97% de la superficie del estado, correspondiente a 1,653,046 ha.; aquí también se agrupan las actividades pecuarias forestales. Sin embargo, esta práctica con sus distintos métodos, actualmente se conocen por su alto grado de perturbación sobre la vegetación natural y reducción de un gran número de comunidades, degradan los terrenos y se mantienen en forma casi permanente a nivel de vegetación secundaria. La explotación forestal también ha propiciado el deterioro de la vegetación y del suelo, debido a la falta de organización y planeación para el aprovechamiento de los recursos; frecuentemente propician quemas e incendios para convertir bosques en terrenos de pastoreo o de cultivos, con rendimientos bajos y acelerando la erosión del suelo (INEGI, 2008, como se citó en CONABIO, 2011).

Agricultura y grupos de suelos

La labranza del suelo pretende mejorar el espacio físico del suelo donde estarán las raíces de las plantas y combatir malezas, plagas y enfermedades que puedan atacar al próximo cultivo. Sin embargo, cuando se está sometiendo un suelo a laboreo, si no se tienen las precauciones debidas como el contenido de humedad del suelo, el tipo e intensidad de la labranza y todas las propiedades físicas del suelo, incluyendo su espesor, se generan problemas como:

- Pérdida de estructura
- Compactación
- Encostramiento y sellamiento superficiales
- Pérdida en la porosidad de aireación
- Pérdida de materia orgánica
- Bajo almacenamiento de agua en el subsuelo
- Incremento en la escorrentía y en la pérdida de suelo por erosión
- Poco desarrollo radicular y baja producción en la explotación que se tenga (Jaramillo, 2002).

Con respecto a la intensidad con la cual se hace la explotación del suelo, ésta define el mayor o menor grado de manipulación y, por tanto, de alteración que se está haciendo sobre el medio. Puede describirse como intensiva, semi-intensiva o extensiva; el tipo extensivo es aquel que presenta la menor intensidad de uso. Una mayor intensidad de uso implica una mayor probabilidad de deterioro para el suelo

y, por tanto, debe acompañarse de más prácticas de manejo preventivo contra aquella posibilidad (Jaramillo, 2002).

Degradación de los suelos

El Comité de la Sociedad de la Ciencia del Suelo Americana define la calidad del suelo como la capacidad funcional de un tipo específico de suelo para sustentar la productividad vegetal o animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y sostener el asentamiento y salud humanos, con límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo. Incluye los conceptos de fertilidad y productividad del suelo, que supone que este debe: Captar, mantener y liberar nutrientes y otros compuestos químicos, agua a las plantas y recargar las capas freáticas y, mantener un ambiente edáfico adecuado para la actividad biológica. Puede cambiar en un corto plazo de tiempo y depende fundamentalmente del uso y prácticas culturales (Navarro, Pérez y Navarro, 2022).

Por degradación se entiende la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y de la complejidad de las tierras. La pérdida de la calidad del suelo viene dada por sucesos que pueden englobarse en:

- Erosión mediante la acción del agua y del viento.
- Degradación física por compactación, sellado, laterización, pérdida como consecuencia de inundaciones y deslizamientos de tierras. Castro (1995), además, identifica otras principales causas del deterioro físico del suelo: El exceso de mecanización, monocultivo, pérdida de la materia orgánica, problemas de mal drenaje.
- Degradación química debida a actividades agrícolas, industriales, mineras: pérdida de materia orgánica y nutrientes, salinización, contaminación.
- Degradación biológica, pérdida de la biodiversidad y pérdida de suelo fértil (Muñoz, Álvarez y Asedegbega, 2019).

La buena salud de los suelos es esencial para preservar los ecosistemas y la biodiversidad, regular el clima, producir alimentos y purificar el agua. Sin embargo, según el Atlas Mundial de la Desertificación, el 75% ya está degradado y 3200 millones de personas sufren directamente las consecuencias. Y si se mantiene la tendencia actual, este porcentaje aumentará hasta el 90% en 2050 (UNESCO, 2024).

Por otro lado, cabe insistir en que la desertificación “ocurre cuando es eliminada la cobertura vegetal que le da cohesión al suelo, lo que daña la capa superior de éste” (PROFEPA, 2022). Además, después de los océanos, el suelo es la principal

reserva de carbono y contribuye de forma decisiva a la adaptación a la crisis climática y la mitigación de sus efectos. En el mundo, su degradación ya ha liberado hasta 78 gigatoneladas de carbono a la atmósfera, pero, según el mapa sobre el secuestro a escala mundial de carbono, los suelos podrían absorber hasta 2.05 pentagramos de CO₂ equivalente al año, de manera que compensarían hasta el 34% de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las tierras agrícolas (Rigillo, 2022).

En su momento, el tipo de degradación dominante fue la disminución de la fertilidad del suelo, con un 92.7% del total de superficie afectada en el país, originada por la disminución de los elementos minerales y de la materia orgánica disponible del suelo (SEMARNAT, 2013).

Degradación química del suelo en México

En el 2002, se registró que la degradación química fue el proceso de degradación del suelo más extendido en el país, con alrededor de 34 millones de ha (17.8% del territorio). En el estudio los tipos de degradación registrados fueron la disminución de la fertilidad, polución, salinización/alcalinización y eutrofización. La disminución de la fertilidad del suelo se debe a un balance negativo entre las entradas de nutrimentos y materia orgánica (vía fertilización, conservación de los residuos de las cosechas y depósito de sedimentos fértiles) y las salidas (representadas por los productos de las cosechas, las quemas o la lixiviación). Este tipo de degradación fue la más importante en el país, cubriendo el 92.7% de la superficie afectada por degradación química. Los restantes tres tipos específicos de degradación química están menos extendidos, ocupando, en conjunto, 7.3% de la superficie con degradación química del país, sin que por ello sean poco importantes (SEMARNAT, 2013).

La polución se debe a la concentración y efecto biológico adverso de algunas sustancias que pueden provenir de tiraderos a cielo abierto, derrames, residuos industriales, deposición de compuestos acidificantes y/o metales pesados (SEMARNAT, 2013).

La salinización y alcalinización, por su parte, representan un incremento en el contenido de sales en el suelo superficial que provoca, entre otras cosas, la disminución del rendimiento de los cultivos. Se presenta principalmente en las regiones áridas, en las cuencas cerradas y en las zonas costeras que tienen suelos naturalmente salinos. Sus posibles causas incluyen intrusión de aguas marinas y el

uso de sistemas de riego que utilizan agua con una alta concentración de sodio, o el uso desmedido de fertilizantes (SEMARNAT, 2013).

La eutrofización es el exceso de nutrimentos en el suelo que perjudica el desarrollo de la vegetación y puede deberse también a la aplicación excesiva de fertilizantes químicos (SEMARNAT, 2013).

Prioridades para el manejo sostenible de suelos

El suelo es el activo más grande del capital natural de los países y se deben realizar acciones encaminadas hacia la restauración del ecosistema, al incremento de la producción de alimentos y a la generación de bienes y servicios ambientales (Cardoza, 2013).

Es necesario actualizar los inventarios nacionales de suelos a escalas mayores, para que se generen datos sobre la clasificación genética de los suelos y mapas de propiedades de estos, y con ello se establezcan mejores prácticas de manejo, para su conservación y restauración. Es necesario que las buenas prácticas de manejo se realicen de manera rutinaria por los agricultores y dueños de los terrenos forestales, y que la conservación del suelo se entienda como el incremento del mayor capital natural que puede poseer un productor (Cardoza, 2013).

Aunque resulte costoso, la restauración de suelos debe hacerse porque ya no se tienen más terrenos productivos. El suelo es el único gran reservorio de carbono estable, el humus puede tardar más de 5000 años en degradarse. El incremento de la materia orgánica del suelo y la generación de humus estable por dicha materia orgánica es la única forma seria y estable, de disminuir los niveles de CO₂ en la atmósfera. Los suelos saludables son la única forma de lograr la seguridad alimentaria de la población (Cardoza, 2013).

Para mantener un adecuado medio físico en el suelo, se deben implementar aquellas prácticas de manejo que garanticen que no se va a hacer un uso abusivo del mismo (Jaramillo, 2002).

Rotación de cultivos

Consiste en alternar especies o familias de plantas anuales o bianuales cultivadas en una parcela concreta en una secuencia o patrón planificado (SEMARNAT, 2024). Es decir, en cada fracción de tierra se siembra un tipo de cultivo diferente cada

temporada. Su propósito es mantener la biodiversidad (especies distintas de plantas, insectos, entre otros) para aprovechar las diferencias que tienen los cultivos en el ritmo de absorción de los nutrientes del sustrato (PROFECO, 2021).

Los beneficios de esta práctica son múltiples y de gran alcance:

- Al cambiar los cultivos en el terreno, se evita que las poblaciones de plagas se establezcan de manera permanente, lo que reduce la necesidad de pesticidas y otros métodos de control dañinos para el medio ambiente.
- Algunos cultivos tienen la capacidad de suprimir el crecimiento de malezas, lo que reduce la competencia por los nutrientes y el espacio.
- Los cultivos de raíces más profundas pueden extraer nutrientes de capas más profundas del suelo, mientras que otros cultivos pueden aportar nutrientes específicos que benefician a las siguientes plantaciones (SEMARNAT, 2024).
- La diversidad de cultivos en rotación no sólo diversifica las especies a nivel superficial, también genera una flora y fauna edáfica diversa, ya que las raíces segregan sustancias orgánicas que atraen diferentes tipos de bacterias y hongos, que a su vez sirven en la transformación de estas sustancias en nutrientes disponibles para las plantas.
- Incremento de la fijación del nitrógeno a través de determinados simbiontes de la biota planta-suelo, y un mejor equilibrio de N/P/K, tanto de fuentes orgánicas como minerales.
- Aumento en la formación de humus (FAO, s.f.).

Agricultura de conservación.

Es un sistema de cultivo que fomenta la alteración mecánica mínima del suelo (por ejemplo, cultivo sin laboreo), el mantenimiento de una cobertura permanente de los suelos y la diversificación de los cultivos. Realza la biodiversidad y los procesos biológicos naturales por encima y por debajo de la superficie del suelo, lo que contribuye a un mayor aprovechamiento del agua y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, así como la mejora y sostenibilidad de la producción de cultivos (FAO, s.f.).

Los tres principios de la agricultura de conservación son:

1. Alteración mecánica mínima del suelo, es decir, cultivo sin laboreo, mediante el depósito directo de las semillas. El equipo puede penetrar en la cubierta del suelo, abrir una ranura de siembra y colocar en ella la semilla. La magnitud de la ranura de siembra y del movimiento de tierra conexas deben

reducirse al mínimo posible. La preparación del suelo para la siembra o la plantación sin labranza consiste en cortar o aplanar la maleza, los residuos de cultivos anteriores o los cultivos de cobertura (FAO, s.f.).

2. Cobertura orgánica permanente del suelo, (un 30% como mínimo) con residuos de cultivos o cultivos de cobertura. Estos cultivos de cobertura se utilizan principalmente por sus efectos sobre la fertilidad del suelo o como forraje para ganado. En las regiones donde se producen cantidades menores de biomasa, o en suelos erosionados y degradados, los cultivos de cobertura:
 - 2.1. Protegen el suelo cuando no está cultivado. Inhibe la evaporación de la humedad del suelo y al mismo tiempo proporciona una mayor infiltración de agua en el perfil edáfico. Protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia y de la compactación por la maquinaria o pisadas de los animales.
 - 2.2. Protegen el suelo durante periodos de barbecho.
 - 2.3. Movilizan y reciclan los nutrientes.
 - 2.4. Mejoran la estructura del suelo y rompen las capas compactadas.
 - 2.5. Permiten una rotación en un sistema de monocultivo.
 - 2.6. Pueden utilizarse para controlar malezas y plagas (FAO, s.f.).
3. Diversificación de especies, mediante asociaciones y secuencias de cultivos variadas que comprendan al menos tres cultivos diferentes (FAO, s.f.).

Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura son diferentes de los cultivos comerciales, que son aquellos que un agricultor vende con fines de lucro, como el maíz o la soja. Aunque también muchos cultivos de cobertura pueden cumplir una doble función, según la intención del agricultor (Rodale Institute, s.f.).

Ejemplos de cultivos de cobertura incluyen mostaza, alfalfa, centeno, tréboles, trigo sarraceno, caupí, rábano, arveja, pasto de Sudán, guisantes de invierno austriacos y más (Rodale Institute, s.f.).

Plantas comestibles pueden ser usadas como coberturas. Otras plantas no comestibles pueden actuar de igual manera. Otro método es el de cultivos asociados, que consiste en sembrar juntos diferentes cultivos para cubrir el suelo (FAO, s.f.).

La mayoría de los cultivos de cobertura (pastos y leguminosas rastreras) no son alimentos. Las leguminosas tienen una bacteria beneficiosa en sus raíces que provee de nitrógeno al suelo (FAO, s.f.).

Tabla 2.

Cultivos de cobertura.

Coberturas	Cultivos de cobertura
Alimentos	
Camote	Ayudar al crecimiento de la cobertura y partes comestibles con compost
Espinaca	
zapallo, pepino, melón	Plantar intercalado con otros cultivos
mora	
Otros	
Pastos	Pastos: desarraigar un grupo y dividirlo en pedazos con raíces y hojas.
pueraria	Sembrar a 30 cm
caupí	Sembrar semillas de leguminosas a profundidad y 30-50 cm de distancia, o al voleo
centrosema	
2 cm de alfalfa	Algunas semillas deberán ser escarificadas

Nota. Plantas comestibles que pueden ser usadas, además, como cobertura. Adaptado de *Cultivos de cobertura*, por la FAO, s.f., (<https://www.fao.org/4/V5290S/v5290s32.htm>).

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del sitio de estudio

El municipio de Santo Domingo Huehuetlán se encuentra ubicado al sur del Estado de Puebla entre los 18°44' 06" y 18°53'12" de latitud norte y entre los 98°03'18" y 98°15'06" de longitud oeste, y tiene una superficie de 264 km². Los límites del municipio son: al norte con el municipio de Puebla, al este con el municipio de Teopantlán, al sur con el municipio de Huatlatlauca y al oeste con los municipios de La Magdalena Tlatlauquitepec, San Juan Atzompa y Tzicatlacoyan. El municipio cuenta con 6,444 habitantes. Se tiene acceso a esta región a través de la carretera que va de San José El Aguacate a Santo Domingo Huehuetlán (Huehuetlán El Grande), que es la cabecera municipal. La topografía de la región es compleja, y la altitud de la zona de estudio varía entre los 1,300 y los 1,400 msnm (Yanes y Morón, 2010).

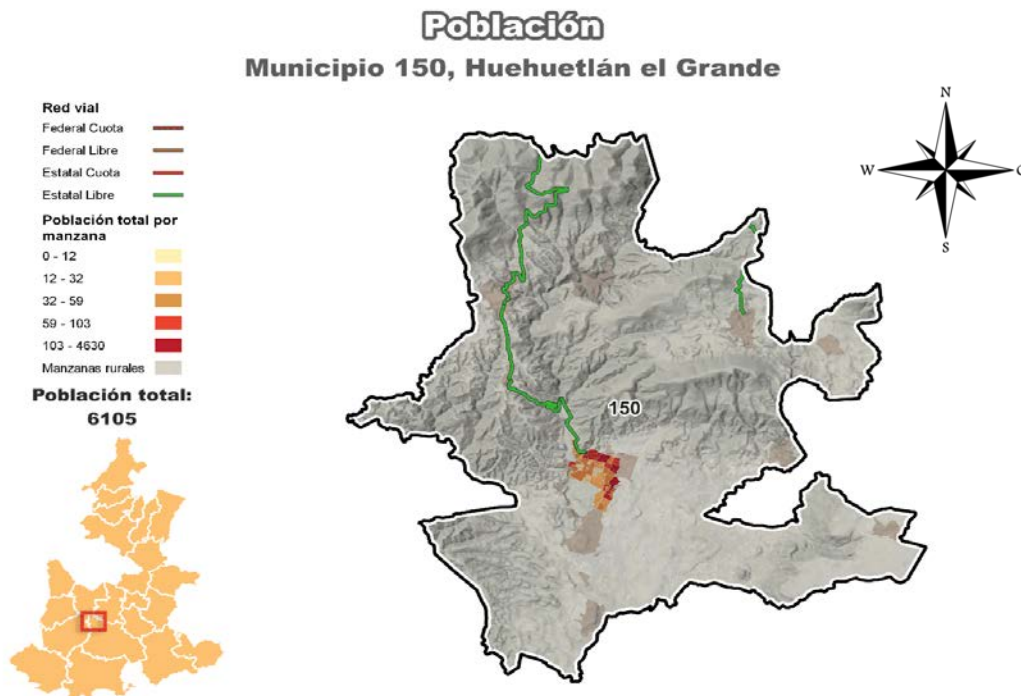


Figura 1. Población municipio 150, Huehuetlán el Grande. Fuente: *Información Demográfica y Social / Municipio de Huehuetlán el grande*, por el INEGI y Secretaría de Planeación y Finanzas, 2020 (<https://ceigep.puebla.gob.mx/fichas/inicio>).

El área de estudio está en Santa Ana Oztolotepec, perteneciente al municipio de Huehuetlán el Grande, Puebla. Altitud = 1406 msnm, Q 594198.80 m, E 2072664.29 m.

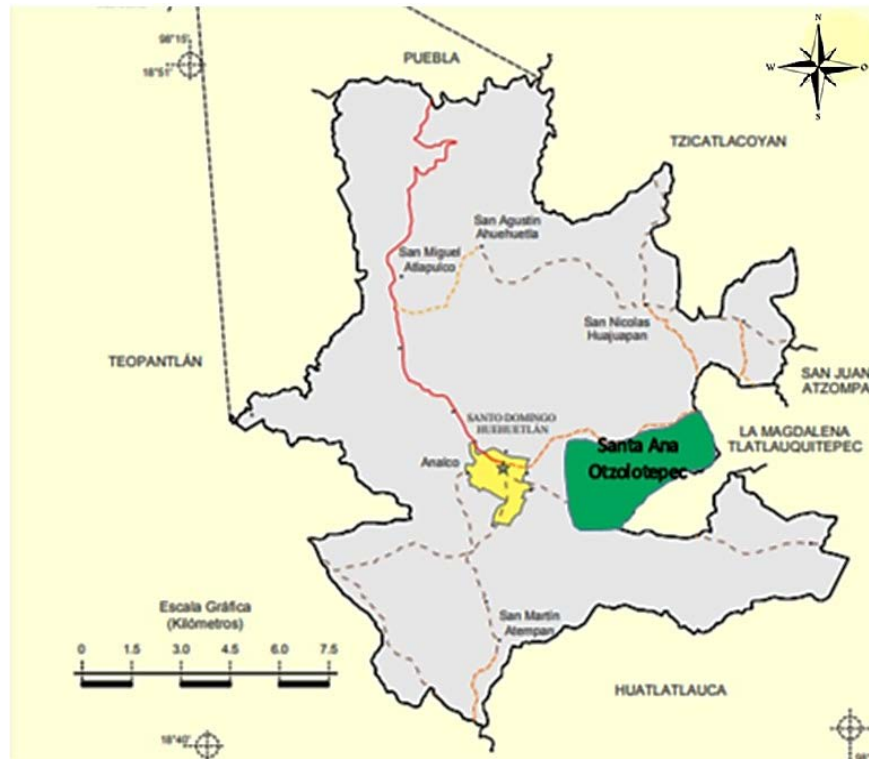


Figura 2. Identificación de la zona de estudio. Fuente: *Marco geoestadístico municipal*, por el INEGI, 2005 (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>).

Extensión

De acuerdo con el reporte que el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) presentó en 2010, el territorio del municipio es de 180,25 kilómetros cuadrados, un 0,52 por ciento, respecto a los 34 mil 289.66 kilómetros cuadrados del Estado.

Asimismo, ocupa el lugar 39 con respecto a los demás municipios del estado. Por otra parte, cuenta con 7 localidades y una población total de 7 mil 722 habitantes (INEGI, 2010).

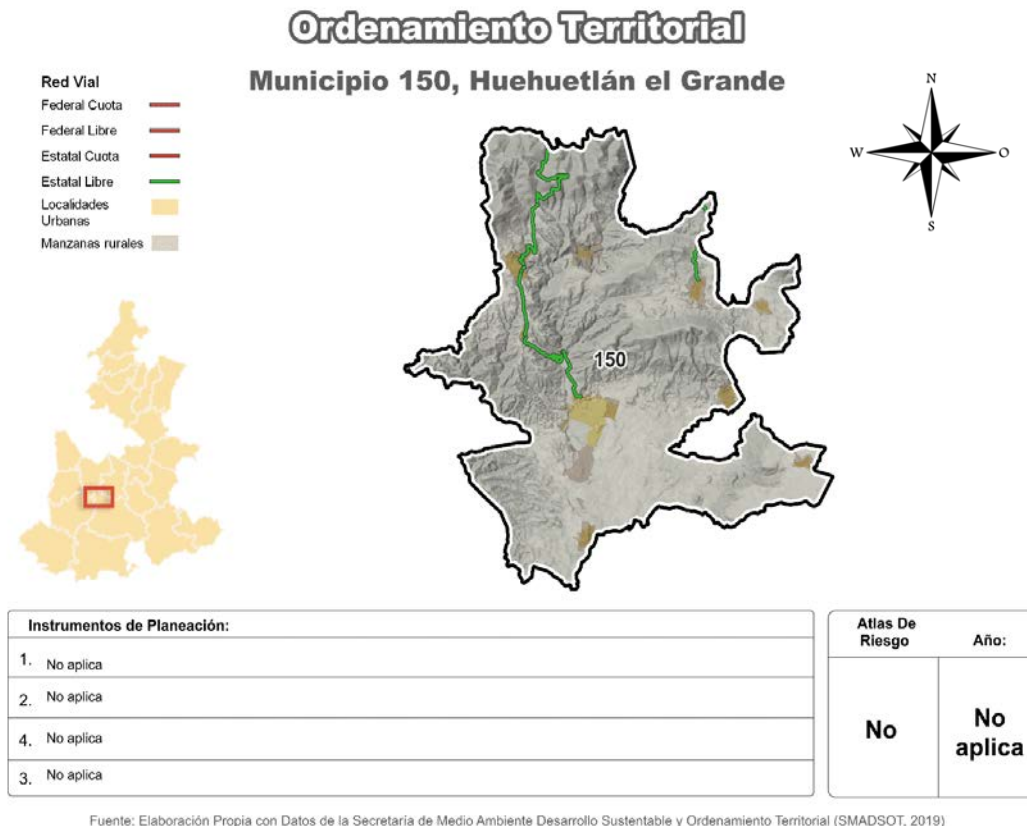


Figura 3. Ordenamiento territorial. Localidades. Fuente: *Información Geográfica y Medio Ambiente*, por la Secretaría de Planeación y Finanzas y SMADSOT, 2019 (<https://ceigep.puebla.gob.mx/fichas/inicio>)

Orografía

El municipio forma parte de tres regiones morfológicas; a partir de la cota 2,000 hacia el norte, forma parte de la Sierra del Tentzo; el área comprendida entre el río Huehuetlán y la cota 1,500 al suroeste pertenece al Valle de Matamoros; el resto del municipio constituye el extremo oriental del valle de Atlixco (INEGI, 2010).

El relieve en general es accidentado, presenta sus mayores alturas en la sierra del Tentzo y desciende el nivel hacia el sur de una manera abrupta y constante, de más de 2,000 metros sobre el nivel del mar hasta de menos de 1,400 (INEGI, 2010).

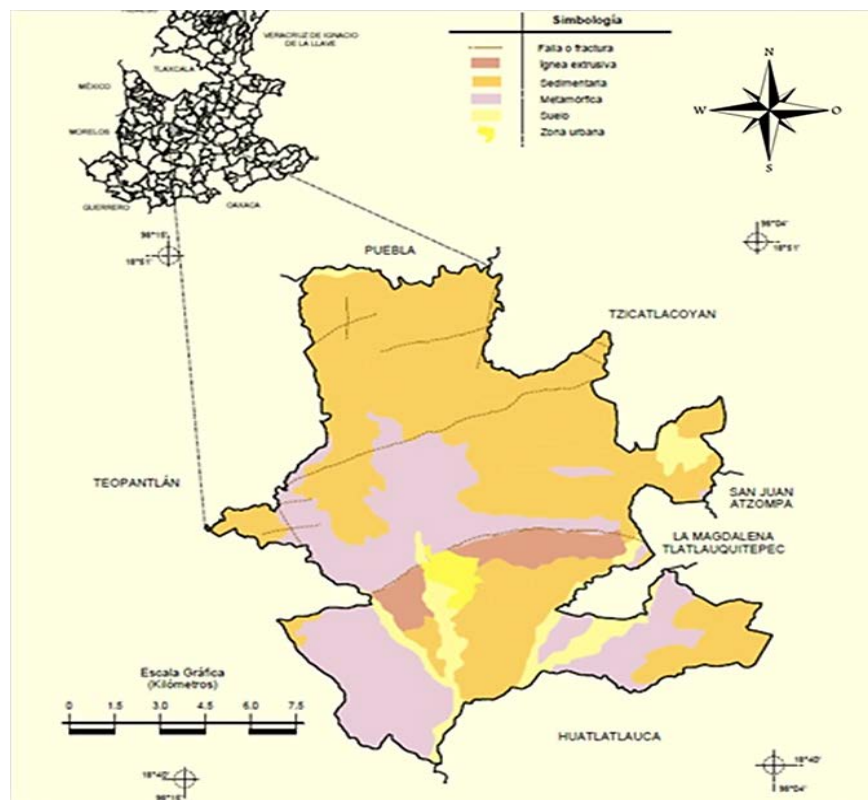


Figura 4. Extensión territorial. Fuente: *Marco geoestadístico municipal*, por el INEGI, 2005 (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>.)

Hidrografía

La altitud que tiene sobre el nivel del mar oscila entre 1 mil 200 y 2 mil 200 metros. El municipio pertenece a la cuenca del río Atoyac; es bañado por numerosas corrientes intermitentes originadas en la sierra del Tentzo al norte; recorren el municipio de norte a sur, formando algunas barrancas importantes como La Barranca Grande y Barranca Tepeyole; terminan concentrándose en el río Huehuetlán, que es el único de carácter permanente y que más al sur se une al Atoyac (INEGI, 2010).

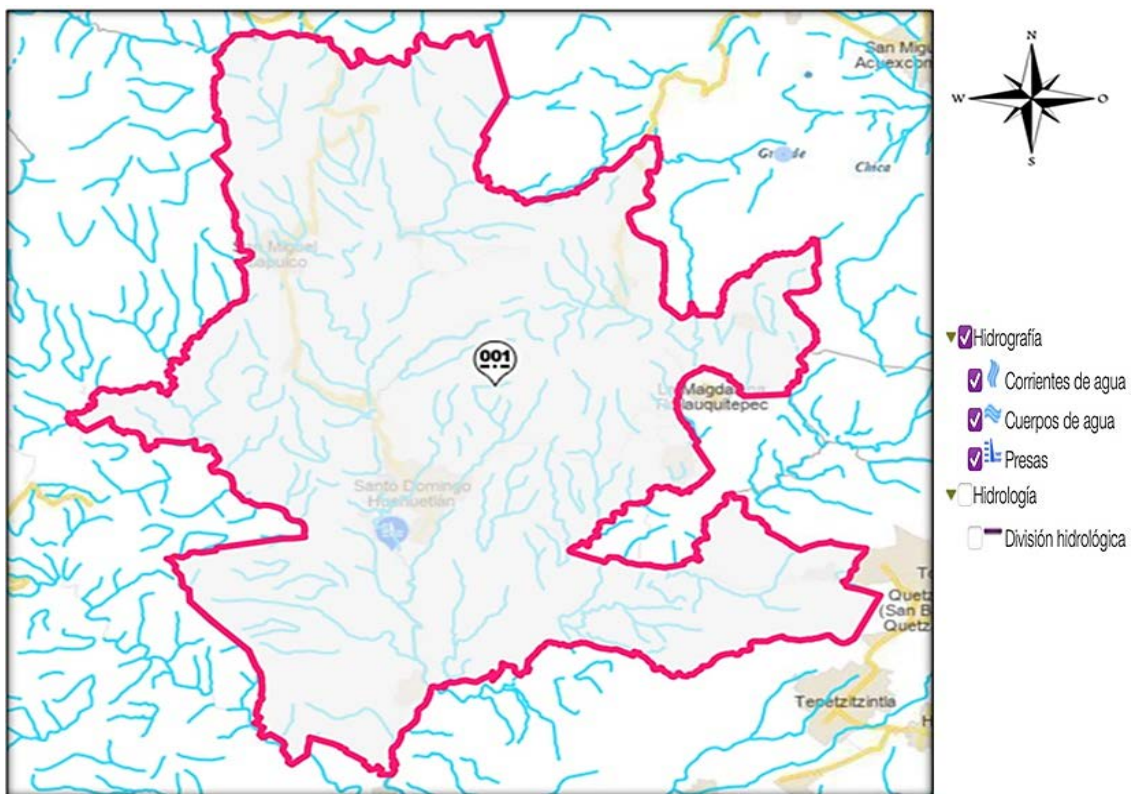


Figura 5. Relieve. Fuente: *Prontuario de información geográfica municipal*, por el INEGI., 2005 (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>).

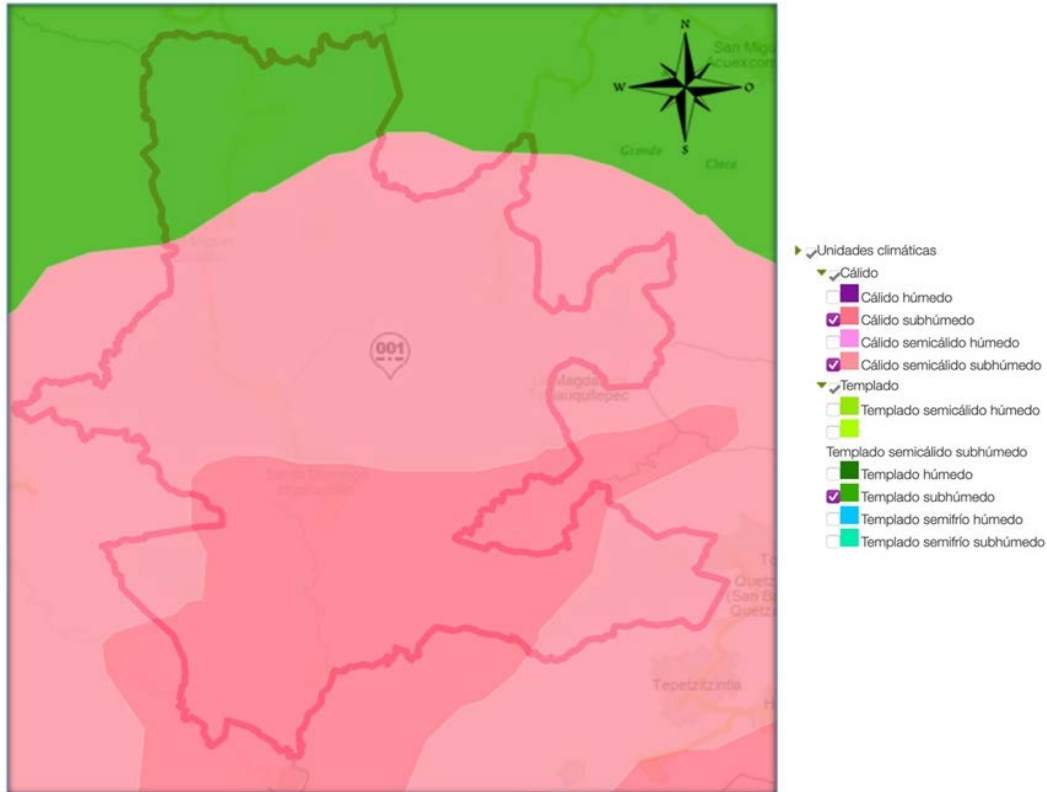


Figura 7. Tipos de climas. Unidades climáticas. Fuente: *Prontuario de información geográfica municipal*, por el INEGI, 2005 (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>).

Principales ecosistemas

El norte del municipio que comprende parte de la sierra del Tentzo, está cubierta por bosques de encino asociados con vegetación secundaria arbustiva; coincide con las zonas montañosas, suelos de Rendzina y clima templado; en estas zonas han empezado a introducir áreas de Agricultura de temporal (INEGI, 2010).

Al centro, la vegetación predominante es la selva baja caducifolia, asociada en ocasiones con vegetación secundaria arbustiva o arbórea, coincidiendo con el curso del río Huehuetlán, se presenta un área con Agricultura de riego tanto de cultivos anuales como semipermanentes. Hay una gran extensión al sur dedicada a la agricultura temporal. Por último, se tienen pequeñas áreas dispersas de pastizal inducido (INEGI, 2010).

En cuanto a fauna, existen: venado, conejo, liebre, tejón, mapache y algunas clases de víboras (INEGI, 2010).

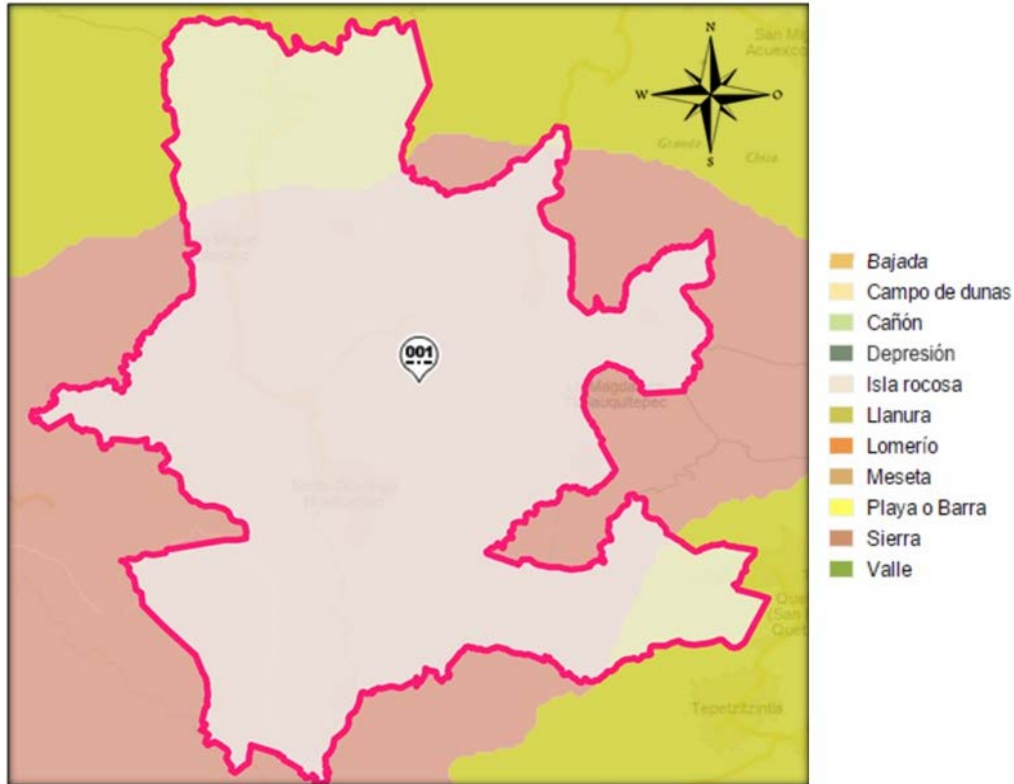


Figura 8. Principales ecosistemas. Fuente: *Prontuario de información geográfica municipal*, por el INEGI, 2005 (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>).

Tipos de suelo

Presenta una gran diversidad edafológica, pues se pueden identificar cuando menos cinco grupos de suelos:

- Rendzina (E); Ocupa un área muy extensa al norte y al centro.
- Cambisol (B); Ocupa una gran área al sur del municipio coincidiendo con zonas planas.
- Litosol (I); Se identifican en tres áreas ubicadas al sur, este y oeste.
- Regosol(R); Ocupa dos áreas al oriente y al poniente.
- Vertisol (V); Ocupa un área reducida al extremo norte (INEGI, 2010)

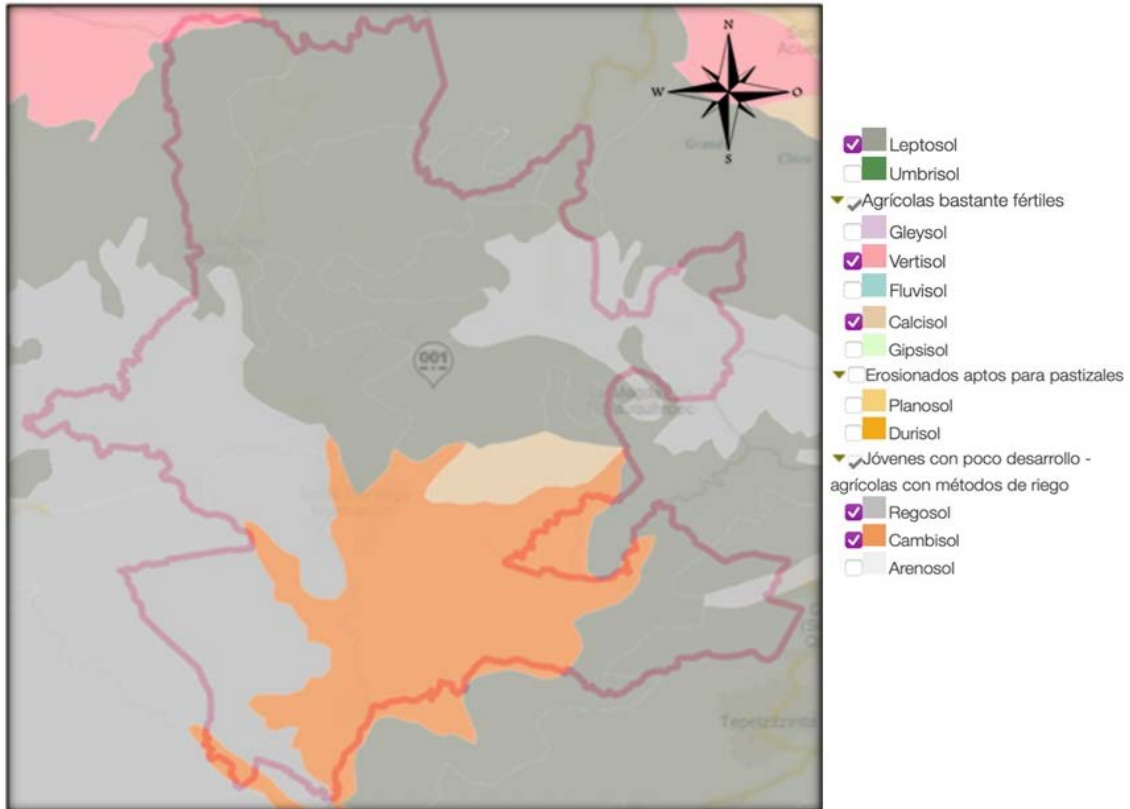


Figura 9. Suelos dominantes. Fuente: *Prontuario de información geográfica municipal*, por el INEGI, 2005 (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>).

Uso de suelo y vegetación

Tabla 3.

Uso del suelo y vegetación.

Periodo de observación de 2002 a 2005
(Kilómetros cuadrados)

Concepto	Estado	Municipio
Superficie continental	34 290	181
Agricultura	15 492	79
Pastizal	3 444	9
Bosque	3 209	1
Selva	1 382	16
Matorral xerófilo	2 399	0
Otros tipos de vegetación	200	0
Vegetación secundaria a/	7 527	76
Áreas sin vegetación	101	0
Cuerpos de agua	47	0
Áreas urbanas	488	0

a/ Comprende la suma de superficies de polígonos clasificados como vegetación secundaria de bosque, selva, matorral xerófilo, pastizal natural y otros tipos de vegetación en sus distintas fases de desarrollo.

Nota: Síntesis estadística municipal. Huehuetlán el Grande, Puebla, 2012. Medio Ambiente.

Fuente: *INEGI, 2012.*

(https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/sintesis_municipales_estadisticas/2012/pue/C21150.xls)

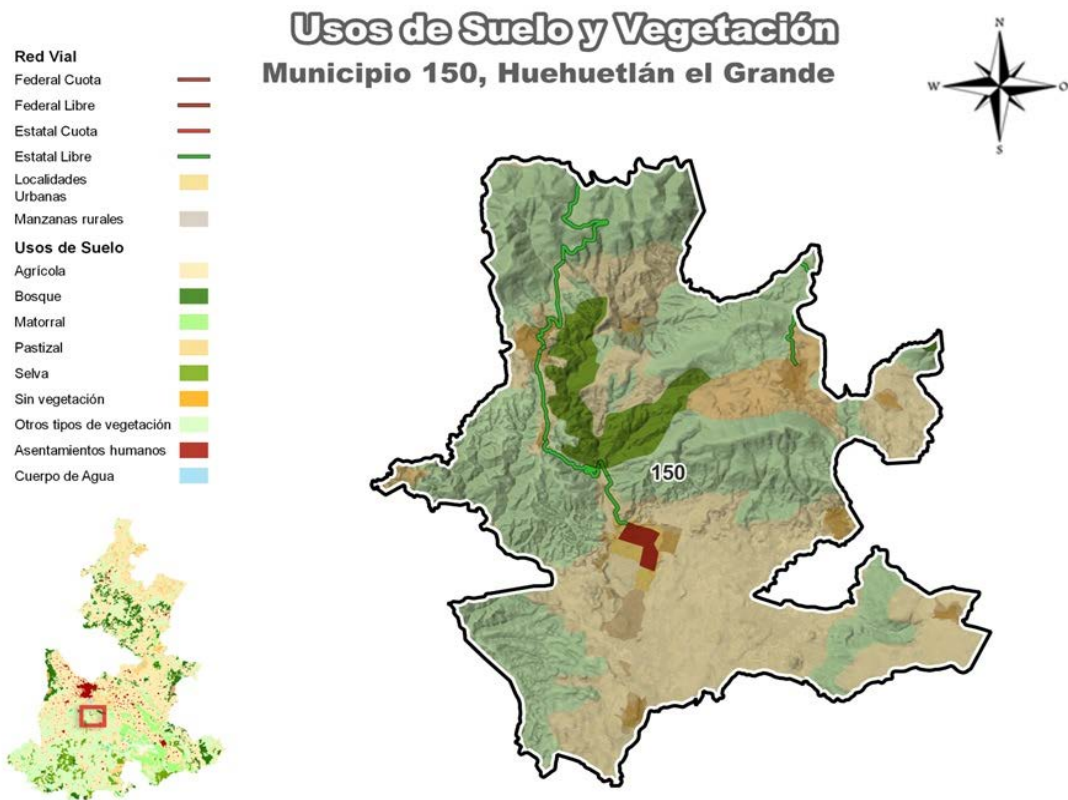
Tabla 4.

Producción agrícola.

Concepto	Estado		Municipio	
	Año agrícola 2005	Año agrícola 2011	Año agrícola 2005	Año agrícola 2011
Superficie sembrada de riego (Hectáreas)	140 863	163 977	295	371
Superficie sembrada de temporal (Hectáreas)	767 111	847 944	2 198	2 271
Superficie mecanizada (Hectáreas)	431 156	594 608	1 976	1 513
Productores beneficiados por el PROCAMPO	182 109	158 152	763	617
Monto pagado por el PROCAMPO (Miles de pesos)	646 106	638 432	2 374	2 292

Nota: Síntesis estadística municipal. Huehuetlán el Grande, Puebla, 2012. Agropecuario y aprovechamiento forestal. Fuente: *INEGI, 2012.*

(https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/sintesis_municipales_estadisticas/2012/pue/C21150.xls)



Fuente: Elaboración Propia con Datos de la 'Carta de Uso del Suelo y Vegetación', Escala 1:250 000, Serie VII, (INEGI, 2017-2021)

Figura 10. Usos de suelo y vegetación 2017-2021. Fuente: *Usos de suelo y vegetación*, por la Secretaría de Planeación y Finanzas y el INEGI, 2017-2021 (<https://ceigep.puebla.gob.mx/fichas/inicio>)

Zona urbana

La zona urbana está creciendo sobre rocas ígneas extrusivas del Neógeno, sedimentarias y suelo aluvial del Cuaternario, en sierra volcánica de laderas tendidas con lomerío; sobre áreas donde originalmente había suelos denominados Cambisol, Leptosol y Regosol; tiene clima semicálido y cálido subhúmedo con lluvias en verano, y está creciendo sobre terrenos previamente ocupados por agricultura y pastizales (INEGI, 2010).

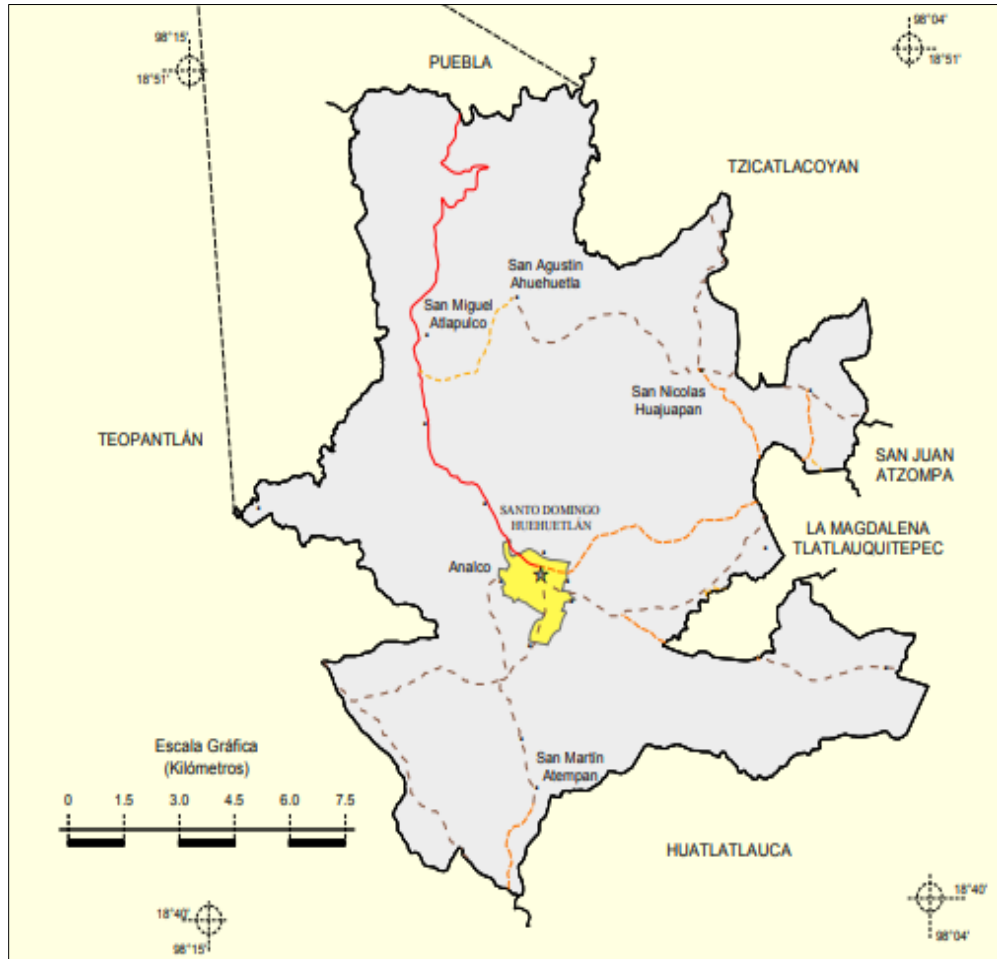


Figura 11. Zona urbana. Fuente: *Prontuario de información geográfica municipal*, por el INEGI, 2005 (<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>).

Actividades económicas

Dentro de las actividades principales que los habitantes de Santa Ana Ocotlán realizan se encuentra: la agricultura, ganadería, albañilería y construcción, alfarería y la elaboración de productos de pirotecnia (comunicación personal, 2022).

En primera instancia el mayor porcentaje de la población se dedica a la agricultura ya sea trabajar terrenos propios o rentados en los que el cultivo principal es el maíz y frijol seguido de la jícama, caña de azúcar, verduras como: calabaza, ejote, pápalo, quelite, rábano, huertas de aguacate, plátano, limón, mango, anona, ciruela, papaya, zapote, guaje y en los últimos 3 años agave o maguey (comunicación personal, 2022).

Asimismo, hay grupos o familias de artesanos que se dedican a la elaboración de productos de barro, cabe mencionar que durante un tiempo atrás esta fue la actividad económica principal de la comunidad ya que con la elaboración y venta de los productos de barro los habitantes podían obtener ingresos para subsistir, sumado a esto, la producción y cosecha de sus cultivos les proporcionaban los elementos básicos para vivir (comunicación personal, 2022).

El modo de labranza de la tierra es de dos tipos: con maquinaria como tractor y “yunta con arado” (animales que pueden ser toros o caballos). Y puede haber 2 cultivos por año, uno para cada mitad del año (comunicación personal, 2022).

La zona de estudio cuenta con tubería de agua que es canalizada desde un río que atraviesa la comunidad por lo que los cultivos pueden ser ambos de riego o temporal (época de lluvias) (comunicación personal, 2022).

Para garantizar una buena cosecha los agricultores procuran fertilizar los terrenos con abono orgánico que puede ser estiércol de res o de chivo y fertilizantes químicos (urea entre otros). También los agricultores hacen uso de plaguicidas y pesticidas para eliminar las plagas y malas hierbas (comunicación personal, 2022).

El clima en temporada seca es parcialmente nublado y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 10 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 7 °C o sube a más de 35 °C (comunicación personal, 2022).

La temporada calurosa dura 2.2 meses, del 26 de marzo al 3 de junio, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 30 °C. El día más caluroso del año es el 3 de mayo, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y una temperatura mínima promedio de 16 °C (comunicación personal, 2022).

La temporada fresca dura 2.2 meses, del 30 de noviembre al 5 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 27 °C. El día más frío del año es el 12 de enero, con una temperatura mínima promedio de 10 °C y máxima promedio de 26 °C (comunicación personal, 2022).

Como se nota la actividad agrícola es muy importante para los habitantes de esta comunidad, pero el desconocimiento de técnicas de conservación y buen uso del suelo puede afectar graves a los terrenos de cultivo y con ello su producción (comunicación personal, 2022).

Actividades agrícolas

Cultivo de maíz.

El cultivo del maíz es la actividad que se realiza mayormente en la comunidad de Santa Ana Oztolotepec con una frecuencia de 2 veces al año, una de riego y una de temporal (comunicación personal, 2024).

El cultivo de riego suele empezar con la preparación de la tierra: barbecho y rastra que generalmente es con maquinaria como tractor, arado o surcado del terreno suele ser con maquinaria pero es más frecuente el empleo de yunta (animales domésticos como toros o caballos) y posteriormente sembrado, para este proceso es más frecuente hacerlo de forma manual, es decir, depositar el maíz sobre el suelo justo en medio del surco y cubrirlo con cierta cantidad de suelo de manera que al momento del riego este no sea arrastrado por la corriente de agua ni tampoco cubrirlo con demasiado suelo ya que esto podría impedir que la semilla germine (comunicación personal, 2024).

El agua utilizada para riego proviene de un arroyo que atraviesa la comunidad, el agua es canalizada y entubada para cubrir la mayor parte de parcelas de la localidad. Este sistema de riego abastece al hasta un 90 % de parcelas en la localidad (comunicación personal, 2024).

La primera etapa de siembra se inicia en los meses de enero y febrero de no hacerlo así la cosecha de esta primera siembra puede prolongarse hasta los meses de junio y julio meses que por lo general son los primeros meses de lluvia de temporal y esto a su vez puede retrasar el proceso para la segunda etapa de siembra (comunicación personal, 2024).

Una vez sembrada la semilla de maíz es necesario un primer riego para que ésta germine, el segundo riego suele ser a los 8 o 10 días del primer riego, de esta manera la semilla que no logró germinar durante el primer riego pueda hacerlo en este segundo. Una vez que la semilla ha germinado en su totalidad la frecuencia de riego puede hacerse cada 15 días (comunicación personal, 2024).

Posteriormente, después de pasado un mes de la siembra la siguiente actividad a realizar es el abonado y labrado proceso en el que el surco se voltea a manera que cubra la raíz de la milpa asimismo el abono que generalmente es químico queda cubierto por el suelo y así realizar su función de fertilizar y dar nutrientes a la planta (comunicación personal, 2024).

Pasados 3 meses del sembrado si el cultivo ha sido destinado a la producción de elote es en este tercer mes cuando el elote debe ser cosechado, si por el contrario la siembra es destinada para maíz habrá que esperar a que el maíz madure y entonces sí pueda ser cosechado como maíz esto generalmente ocurre en el quinto mes (comunicación personal, 2024).

Los productos que se obtienen con el cultivo del maíz son:

- Elote
- Zacate verde para consumo de ganado
- Maíz que por lo regular es para el propio consumo, aunque sí hay agricultores que venden el producto
- Hoja de mazorca. Generalmente es sacada para la venta ya que es muy demandada para elaboración de tamales
- Zacate seco. Para consumo de ganado (comunicación personal, 2024).

Los ingresos del cultivo de maíz son relativamente bajos (dependiendo de la calidad del maíz), pero los agricultores dicen que así no necesitan comprar maíz para su consumo (comunicación personal, 2024).

Cultivo de frijol

El cultivo de frijol se realiza más frecuentemente junto con el cultivo de maíz en época de temporal pues la milpa cuando crece le provee soporte para que la guía de frijol crezca de manera sana y pueda así desarrollar su producto (comunicación personal, 2024).

La cosecha del frijol generalmente es en el mes de noviembre previo a la cosecha de maíz y antes que la vaina esté completamente seca ya que si se deja secar por completo ésta de manera natural rompe por sí misma esparciendo los frijoles por todos lados lo que representa pérdidas para los agricultores. Hay también quien cosecha ejote que es cuando la vaina de frijol está sin madurar o tierno, sin embargo, la cosecha de ejote es normalmente para autoconsumo y no representa ganancias económicas. Los ingresos de una maquila de frijol dependen del tipo de frijol (vallo, negro, Michigan, etc.) (comunicación personal, 2024).

Cultivo de calabaza

Al igual que el frijol, el cultivo de la calabaza también se practica en época de temporal y también es junto con el cultivo del maíz. Su cosecha por lo regular es en el mes de diciembre cuando la cosecha de frijol y maíz se ha levantado pues este producto requiere más tiempo para su maduración ya que en sí el producto de interés de esta planta es la semilla porque los agricultores deben asegurarse de que la calabaza ha madurado lo suficiente para su extracción (comunicación personal, 2024).

Cultivo de verduras

Las verduras se cultivan casi todo el tiempo gracias a que las parcelas cuentan con agua de riego, de esta manera los agricultores garantizan una buena cosecha, por supuesto siempre y cuando se cuide de las plagas (comunicación personal, 2024).

Las verduras más comunes son: rábano, pipicha (*Porophyllum tagetoides*), pápalo (*Porophyllum ruderale*), alaches (*Anoda dilleniana Cav*) y cilantro. Estas verduras requieren un riego más frecuente que el maíz y la cosecha comienza a partir del segundo mes después de haber sembrado (comunicación personal, 2024).

Cultivo de frutas

Aguacate, anona (*Annona squamosa*), limón, mango, ciruela roja (*Spondia purpurea*) son las frutas que generan mayor derrama económica y es muy común tener árboles frutales en el perímetro de la parcela, sin embargo, la mayoría de ellas son frutas de temporada por lo que su cosecha es tan solo una vez por año (comunicación personal, 2024).

La cosecha de aguacate es de al menos dos veces al año y del limón es más frecuente. En los meses de mayo y julio un kilo de aguacate criollo puede generar mayores ingresos. Por otro lado, en el mes de junio el costo de aguacate se reduce porque es el mes en que hay mayor productividad (comunicación personal, 2024).

Frutas como la anona su producción comienza a finales del mes de febrero y hasta mediados del mes de abril, el costo varía dependiendo del tamaño de la fruta. Para la ciruela roja, mayo es el mes que tiene mayor producción y la venta de esta fruta suele ser por ciento (comunicación personal, 2024).

Juntamente con la producción de ciruela roja inicia la producción de mango criollo, sin embargo, la cosecha de mango sí puede prolongarse hasta el mes de julio cosa que no sucede con la cosecha de ciruela roja (comunicación personal, 2024).

Los productos se transportan a los mercados de Puebla, entre los que destacan: mercado Morelos, mercado Zapata, central de abastos, tianguis y plazas como el tianguis de Tepeaca y Huixcolotla, ubicados en el estado de Puebla (comunicación personal, 2024).

2.2 Actividades de campo

Selección de la zona de estudio

La localización de la zona de estudio se realizó apoyándonos de la cartografía de INEGI, planos topográficos, climatológicos y de vegetación, para posteriormente seleccionar los puntos de muestreo y caracterizar los suelos.

Muestreo de suelo

Se seleccionó la zona de estudio sobre la cual se distribuyeron 4 puntos de muestreo que corresponden a parcelas de cultivo.

Para efectuar el muestreo, se siguió la metodología indicada en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Se utilizaron los siguientes materiales: pala, bolsas de polietileno, marcadores y libreta de campo.

Se recolectaron 4 muestras en cada una de las cuatro parcelas, todas en una misma zona de estudio de la siguiente manera:

- Muestreo en zigzag dentro de cada parcela y a 20cm de profundidad.
- La muestra compuesta se hizo con 3 submuestras de cada parcela.
- Cada muestra se extendió sobre charolas de aluminio para el secado.
- Cada muestra se tamizó y almacenó en bolsas de polietileno.

Parcelas muestreadas



Figura 12. Parcela 1. Cultivo de calabaza. Elaboración propia.



Figura 13. Parcela 2. Cultivo de maguey. Elaboración propia.



Figura 14. Parcela 3. Cultivo de maíz. Elaboración propia.



Figura 15. Parcela 4. Sin cultivar. Elaboración propia.

Cabe mencionar que las cuatro muestras recolectadas pertenecen a la misma zona, es decir, las parcelas de las que se obtuvieron son colindantes y están en la misma zona geográfica.

2.3 Análisis químico de los suelos

A continuación, se presenta evidencia de las determinaciones realizadas sobre las 4 muestras como parte del análisis fisicoquímico del suelo.



Figura 16. Preparación de las muestras representativas. Elaboración propia.



Figura 17. Preparación de la pasta saturada. Nota. De acuerdo con el método (AS-16) de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Elaboración propia.



Figura 18. Obtención del extracto de saturación. Nota. *De acuerdo con el método (AS-16) de la NOM-021-SEMARNAT-2000.* Elaboración propia.

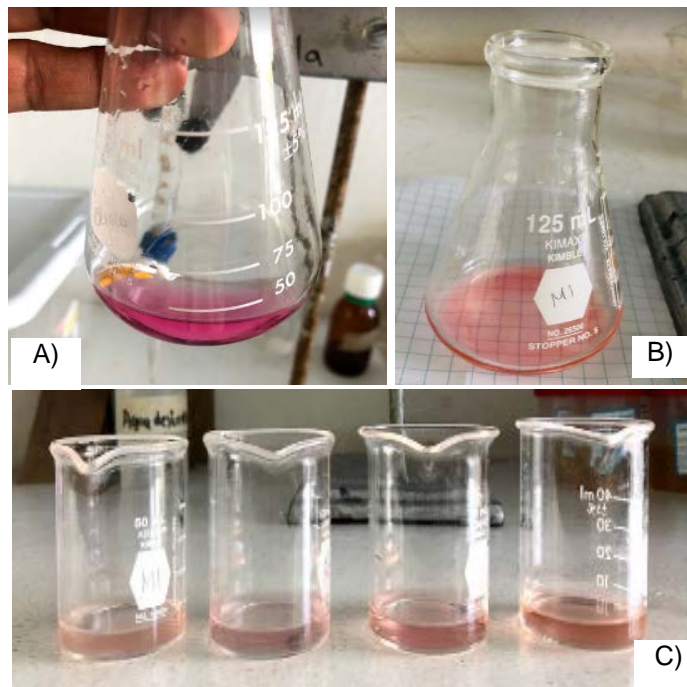




Figura 19. Determinación de carbonatos y bicarbonatos. Nota. A) Indicador de fenolftaleína. B) y C) Determinación de carbonatos. D) Determinación de bicarbonatos De acuerdo con el método (AS-20) de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Elaboración propia.



Figura 20. Determinación de aniones solubles: Cloruros. Nota. De acuerdo con el método (AS-20) de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Elaboración propia.



Figura 21. Determinación de cationes solubles. Calcio. Nota. De acuerdo con el método (AS-19) de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Elaboración propia.

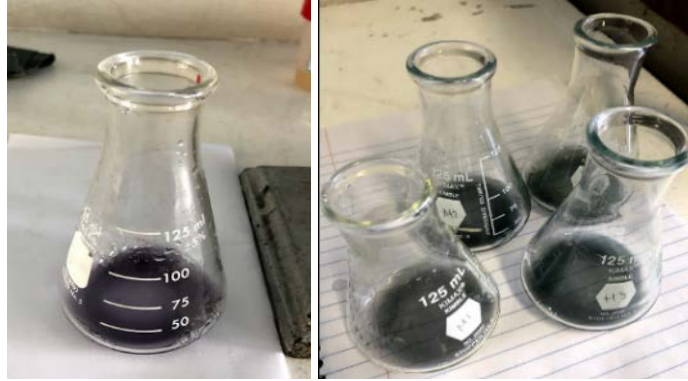


Figura 22. Determinación de cationes solubles. Magnesio. Nota. De acuerdo con el método (AS-19) de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Elaboración propia.

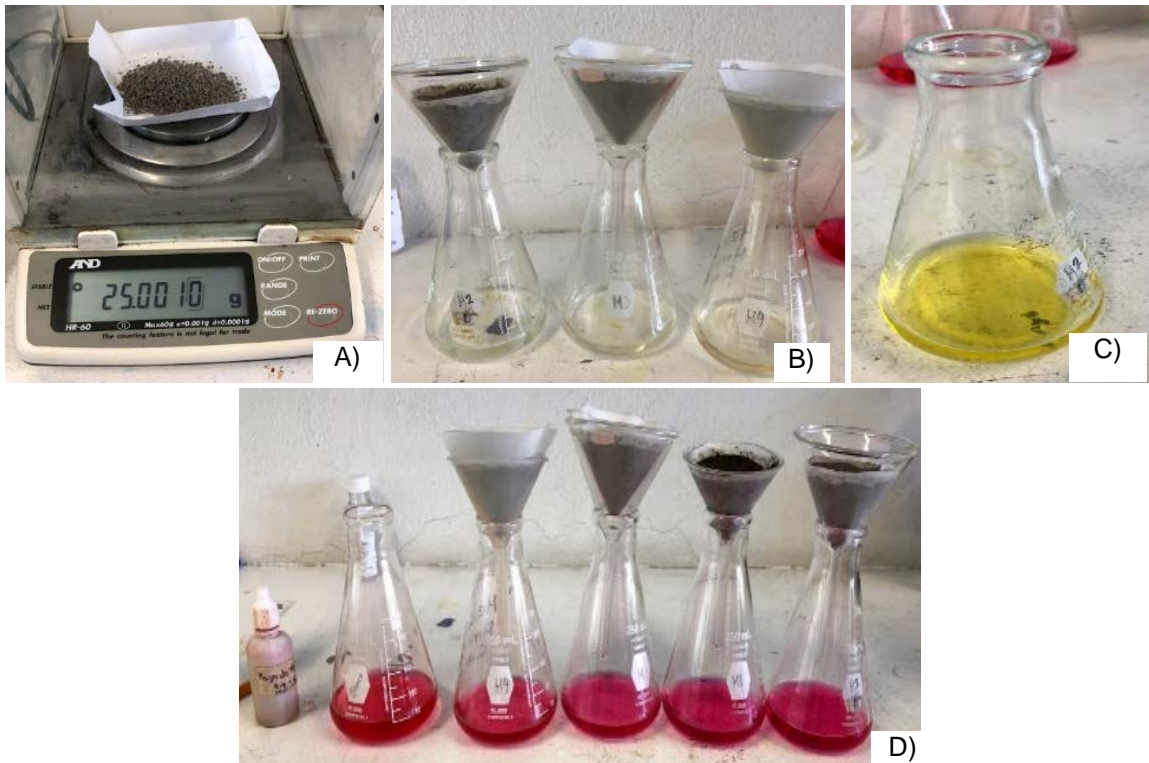


Figura 23. Determinación de Acidez extraíble. Nota. A) Muestra utilizada. B) Sistema de infiltración. C) Extracto con indicador. D) Muestras tituladas. De acuerdo con el método (AS-32) de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Elaboración propia.



Figura 24. Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico. Nota. *Por el método de saturación con acetato de sodio pH 8.2. Del Manual de métodos de laboratorio para estudios de suelos, del USDA, (Burt, 2004). Elaboración propia.*

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de color

Tabla 5.

Determinación de color en muestras de parcelas.

Color	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4 (blanco sin cultivar)
En seco	5YR 3/1	5YR 3/2	5YR 3/2	5YR 3/1
Interpretación	Gris muy oscuro	Café rojizo oscuro	Café rojizo oscuro	Gris muy oscuro

Nota. Determinaciones empleando las muestras en seco y evaluadas mediante el método de las tablas de Munsell. Elaboración propia.

Extracto de saturación

Tabla 6.

Extracto de saturación colectado de las muestras de parcelas.

Muestra	Extracto colectado (ml)
M_1	50
M_2	46
M_3	50
M_4	49

Nota. A partir de 150g de muestra de la pasta de suelo saturado. Elaboración propia.

Determinación de carbonatos

Tabla 7.

Determinación de carbonatos.

Muestra	Alícuota (ml)	Normalidad del H_2SO_4 (N)	Volumen de H_2SO_4 gastado en la muestra (ml)	Carbonatos (mEq/l)
M_1	5	0.05	0.2	4
M_2	5	0.05	0.1	2
M_3	5	0.05	0.1	2
M_4	5	0.05	0.2	4

Nota. Elaboración propia.

Fórmula y cálculos:

$$\text{carbonatos} \left(\frac{\text{mEq}}{\text{l}} \right) = \frac{A}{B} \times N \times 2000$$

Donde:

A= Volumen de H_2SO_4 . (ml)

B= Volumen de la alícuota. (ml)

N= Normalidad del H_2SO_4 .

$$M_1 \text{ carbonatos} \left(\frac{\text{mEq}}{\text{l}} \right) = \frac{0.2\text{ml}}{5\text{ml}} \times 0.05N \times 2000 = 4 \frac{\text{mEq}}{\text{l}}$$

$$M_2 \text{ carbonatos} \left(\frac{\text{mEq}}{\text{l}} \right) = \frac{0.1\text{ml}}{5\text{ml}} \times 0.05N \times 2000 = 2 \frac{\text{mEq}}{\text{l}}$$

$$M_3 \text{ carbonatos} \left(\frac{\text{mEq}}{\text{l}} \right) = \frac{0.1\text{ml}}{5\text{ml}} \times 0.05N \times 2000 = 2 \frac{\text{mEq}}{\text{l}}$$

$$M_4 \text{ carbonatos} \left(\frac{\text{mEq}}{\text{l}} \right) = \frac{0.2\text{ml}}{5\text{ml}} \times 0.05N \times 2000 = 4 \frac{\text{mEq}}{\text{l}}$$

Determinación de bicarbonatos

Tabla 8.

Determinación de bicarbonatos.

Muestra	Volumen de H_2SO_4 gastado en las 2 titulaciones (ml)	Volumen de H_2SO_4 gastado en la titulación de carbonatos (ml)	Volumen de la alícuota (ml)	Bicarbonatos (mEq/L)
M_1	0.8	0.2	5	4
M_2	0.6	0.1	5	4
M_3	0.8	0.1	5	6
M_4	1.2	0.2	5	8

Nota. Elaboración propia.

Fórmula y cálculos:

$$\text{Bicarbonatos} \left(\frac{\text{mEq}}{\text{l}} \right) = \frac{(T - 2A)}{B} \times N \times 1000$$

Donde:

T= Volumen de H_2SO_4 gastado en las 2 titulaciones (ml).

A= Volumen de H_2SO_4 gastado en la titulación de carbonatos (ml).

B= Volumen de la alícuota (ml).

N= Normalidad de H_2SO_4 .

$$M_1 \text{ Bicarbonatos } \left(\frac{mEq}{l} \right) \frac{(0.8ml - 2(0.2ml))}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 4 \frac{mEq}{l}$$

$$M_2 \text{ Bicarbonatos } \left(\frac{mEq}{l} \right) \frac{(0.6ml - 2(0.1ml))}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 4 \frac{mEq}{l}$$

$$M_3 \text{ Bicarbonatos } \left(\frac{mEq}{l} \right) \frac{(0.8ml - 2(0.1ml))}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 6 \frac{mEq}{l}$$

$$M_4 \text{ Bicarbonatos } \left(\frac{mEq}{l} \right) \frac{(1.2ml - 2(0.2ml))}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 8 \frac{mEq}{l}$$

Determinación de cloruros

Tabla 9.

Determinación de cloruros.

Muestra	Alícuota (ml)	Normalidad de $AgNO_3$ (N)	Volumen de $AgNO_3$ gastado en el blanco (ml)	Volumen de $AgNO_3$ gastado en la muestra (ml)	Cloruros (mEq/L)
M_1	5	0.05	0.3	0.5	2
M_2	5	0.05	0.3	0.7	4
M_3	5	0.05	0.3	0.3	0
M_4	5	0.05	0.3	0.9	6

Nota. Elaboración propia.

Fórmula y cálculos:

$$\text{Cloruros } \left(\frac{mEq}{l} \right) = \frac{A - B}{C} \times N \times 1000$$

Donde:

A= Volumen de $AgNO_3$ gastado en la muestra (ml).

B=Volumen de $AgNO_3$ gastado en el blanco (ml).

C= Volumen de la alícuota (ml).

N= Normalidad del $AgNO_3$.

$$M_1 \text{ Cloruros } \left(\frac{mEq}{l} \right) = \frac{0.5ml - 0.3ml}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 2 \frac{mEq}{l}$$

$$M_2 \text{ Cloruros } \left(\frac{mEq}{l} \right) = \frac{0.7ml - 0.3ml}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 4 \frac{mEq}{l}$$

$$M_3 \text{ Cloruros } \left(\frac{mEq}{l} \right) = \frac{0.3ml - 0.3ml}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 0 \frac{mEq}{l}$$

$$M_4 \text{ Cloruros } \left(\frac{mEq}{l} \right) = \frac{0.9ml - 0.3ml}{5ml} \times 0.05N \times 1000 = 6 \frac{mEq}{l}$$

Determinación de calcio

Tabla 10.

Determinación de calcio.

Muestra	Alícuota (ml)	Normalidad del EDTA (N)	Volumen de EDTA gastado en la muestra (ml)	Calcio (mEq/L)
M_1	5	0.1	0.6	12
M_2	5	0.1	0.4	8
M_3	5	0.1	0.5	10
M_4	5	0.1	0.8	5

Nota. Elaboración propia.

Fórmula y cálculos:

$$\text{Calcio } \frac{mEq}{l} = \frac{A}{B} \times N \times 1000$$

Donde:

A= Volumen EDTA (ml).

B= Volumen de la alícuota (ml).

N= Normalidad del EDTA.

$$M_1 \text{ Calcio } \frac{mEq}{l} = \frac{0.6ml}{5ml} \times 0.1N \times 1000 = \frac{12mEq}{l}$$

$$M_2 \text{ Calcio } \frac{mEq}{l} = \frac{0.4ml}{5ml} \times 0.1N \times 1000 = 8 \frac{mEq}{l}$$

$$M_3 \text{ Calcio } \frac{mEq}{l} = \frac{0.5ml}{5ml} \times 0.1N \times 1000 = 10 \frac{mEq}{l}$$

$$M_4 \text{ Calcio } \frac{mEq}{l} = \frac{0.8ml}{5ml} \times 0.1N \times 1000 = 5 \frac{mEq}{l}$$

Determinación de magnesio

Tabla 11.

Determinación de magnesio.

Muestra	Alícuota (ml)	Volumen del Extracto de Saturación (ml)	Normalidad del EDTA (N)	Peso de la muestra (g)	Volumen de EDTA gastado en la muestra (ml)	Magnesio (mEq/100g)
M_1	5	50	0.1	150	0.6	0.4
M_2	5	46	0.1	150	0.4	0.2453
M_3	5	50	0.1	150	0.5	0.3333
M_4	5	49	0.1	150	0.8	0.5226

Nota. La unidad mEq/100g equivale a 1 cmol (+) /Kg, Elaboración propia.

Fórmula y cálculos:

$$\frac{Mg \text{ mEq}}{100g} = \frac{A}{B} \times N \times \frac{C}{D} \times 100$$

Donde:

A= Volumen de EDTA (ml).

B= Peso de la muestra (g).

N= Normalidad del EDTA.

C= Volumen del extracto (ml)

D= Volumen de la alícuota (ml)

$$M_1 \frac{Mg \text{ mEq}}{100g} = \frac{0.6ml}{150g} \times 0.1N \times \frac{50ml}{5ml} \times 100 = 0.4 \frac{mEq}{100g}$$

$$M_2 \frac{Mg \text{ mEq}}{100g} = \frac{0.4ml}{150g} \times 0.1N \times \frac{46ml}{5ml} \times 100 = 0.2453 \frac{mEq}{100g}$$

$$M_3 \frac{Mg \text{ mEq}}{100g} = \frac{0.5ml}{150g} \times 0.1N \times \frac{50ml}{5ml} \times 100 = 0.3333 \frac{mEq}{100g}$$

$$M_4 \frac{Mg \text{ mEq}}{100g} = \frac{0.8ml}{150g} \times 0.1N \times \frac{49ml}{5ml} \times 100 = 0.5226 \frac{mEq}{100g}$$

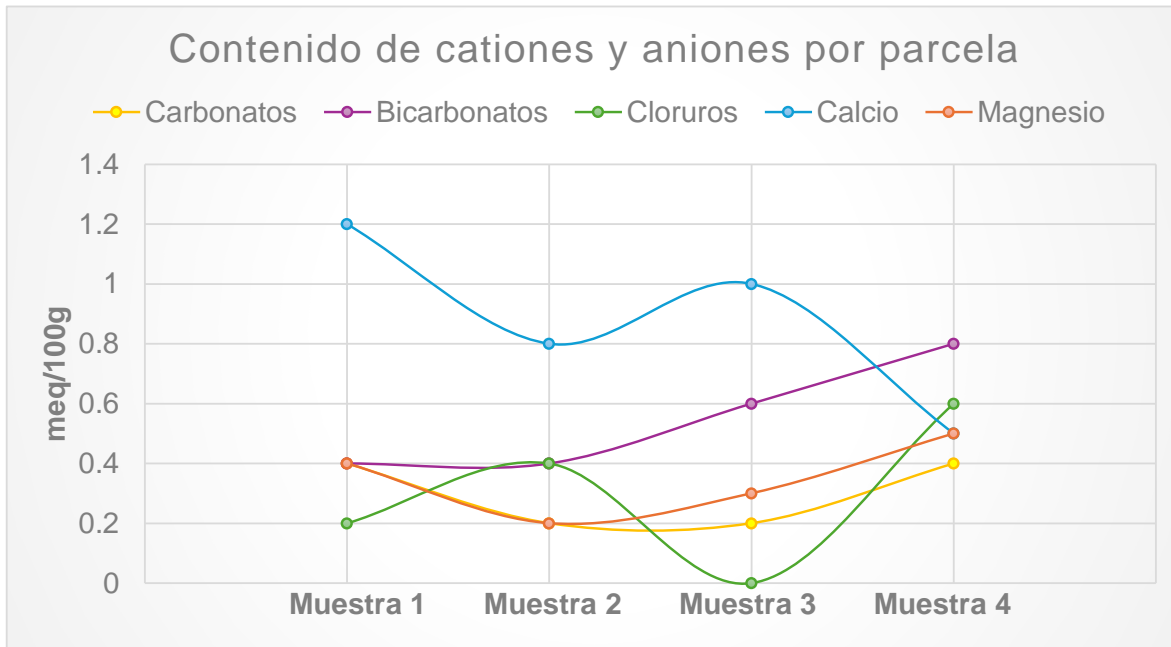


Figura 25. Gráfico de la determinación de cationes y aniones en las muestras. Nota. *Muestra 1: Parcela con cultivo de calabaza. Muestra 2: Parcela con cultivo de maguey. Muestra 3: Parcela con cultivo de maíz. Muestra 4: Parcela sin cultivar.* Elaboración propia.

Determinación de acidez extraíble

Tabla 12.

Determinación de la acidez extraíble.

Muestra	Peso de la muestra (g)	Alícuota (ml)	Normalidad del HCl (N)	Volumen del HCl gastado en el blanco (ml)	Volumen de HCl gastado en la muestra (ml)	Acidez extraíble (mEq/100g)
Blanco	-	5	1	3.5	-	-
M_1	25	5	1	3.5	1.1	9.6
M_2	25	5	1	3.5	1.4	8.4
M_3	25	5	1	3.5	1.4	8.4

M_4	25	5	1	3.5	1.1	9.6
-------	----	---	---	-----	-----	-----

Nota. Elaboración propia.

Fórmula y cálculos:

Se reporta como mEq/100 g suelo ($cmol^{(+)}kg^{-1}$)

$$\frac{mEq}{100g} = \frac{(B - T) \times N \times 100}{C}$$

Dónde:

B = Volumen del reactivo utilizado en titular el blanco (ml)

T = Volumen de HCl utilizado en la valoración de la muestra (ml)

N = Normalidad del HCl

C = peso de la muestra (g)

$$M_1 \frac{mEq}{100g} = \frac{(3.5 - 1.1) \times 1N \times 100}{25g} = 9.6 \frac{mEq}{100g}$$

$$M_2 \frac{mEq}{100g} = \frac{(3.5 - 1.4) \times 1N \times 100}{25g} = 8.4 \frac{mEq}{100g}$$

$$M_3 \frac{mEq}{100g} = \frac{(3.5 - 1.4) \times 1N \times 100}{25g} = 8.4 \frac{mEq}{100g}$$

$$M_4 \frac{mEq}{100g} = \frac{(3.5 - 1.1) \times 1N \times 100}{25g} = 9.6 \frac{mEq}{100g}$$

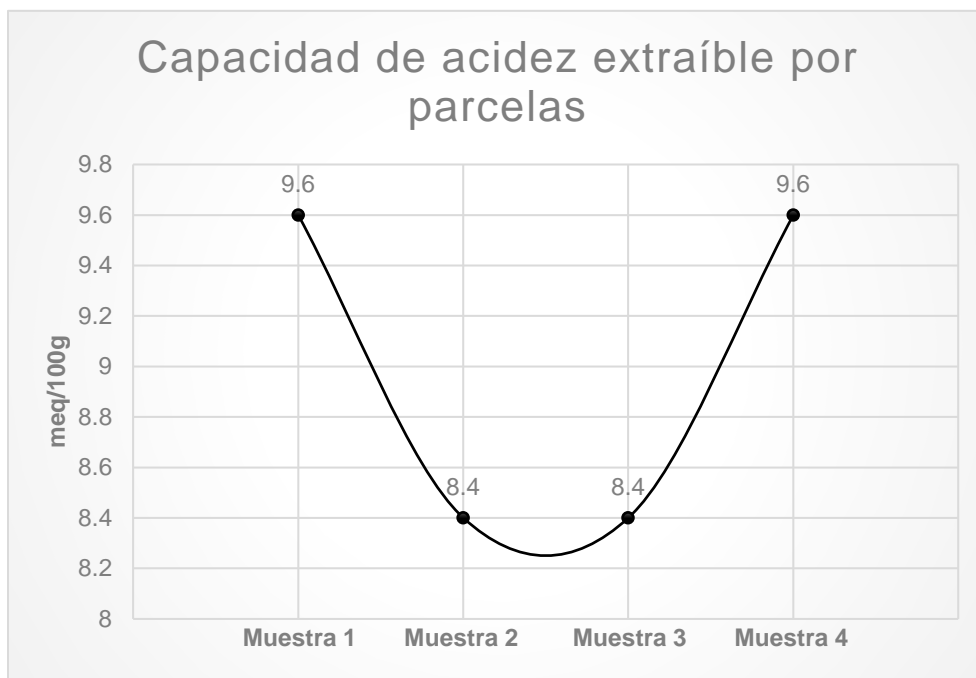


Figura 26. Gráfico de la determinación de acidez extraíble en las muestras. Nota. De acuerdo con (Sadzawka, 1990), designarse como “*acidez potencial*”, “*acidez máxima*” o “*acidez titulable*” y a veces es denominada confusamente como “*acidez de intercambio*”. Elaboración propia.

Determinación de capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Tabla 13.

Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Muestra	Volumen del EDTA (L)	Molaridad del EDTA (M)	Volumen de la alícuota (ml)	CIC (moles carga/ Kg de suelo)
M_1	0.008	0.2	5	0.0128
M_2	0.006	0.1	5	0.0048
M_3	0.008	0.1	5	0.0064
M_4	0.012	0.2	5	0.0192

Nota. Elaboración propia.

Fórmula y cálculos:

$$\text{moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo} = \frac{2AB}{C}$$

Donde:

A= Volumen de EDTA (l).

B=Molaridad del EDTA.

C= Muestra de suelo (Kg).

$$M_1 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo} = \frac{2(0.008l)(0.2)}{0.025\text{Kg}} = 0.128 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo}$$

$$M_2 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo} = \frac{2(0.006l)(0.1)}{0.025\text{Kg}} = 0.048 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo}$$

$$M_3 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo} = \frac{2(0.008l)(0.1)}{0.025\text{Kg}} = 0.064 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo}$$

$$M_4 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo} = \frac{2(0.012l)(0.2)}{0.025\text{Kg}} = 0.192 \text{ moles } \frac{\text{carga}}{\text{Kg}} \text{ suelo}$$

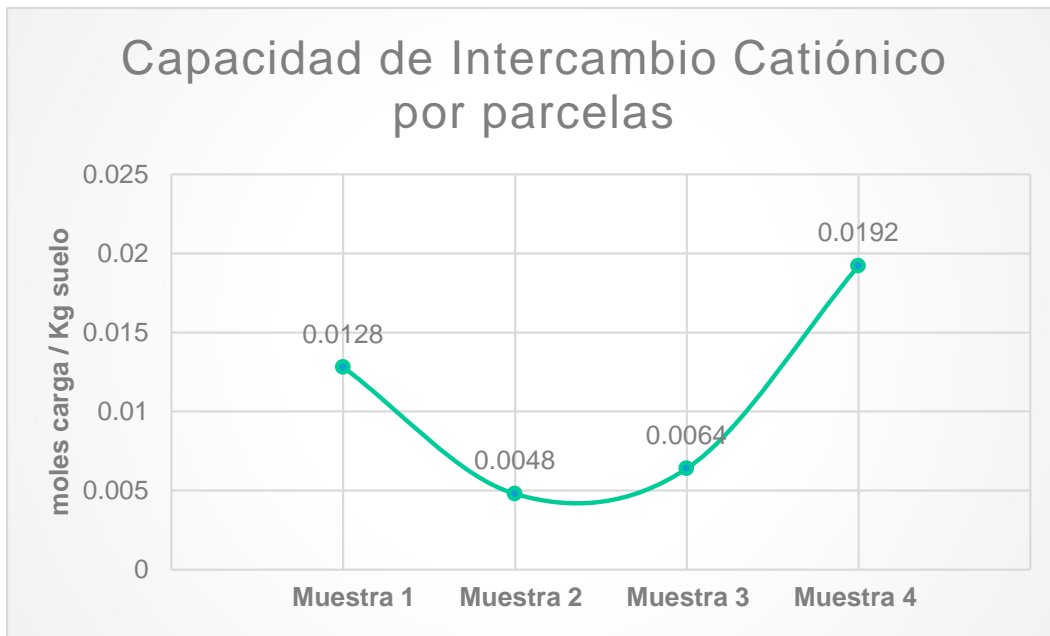


Figura 27. Gráfico de la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en las muestras.
Nota. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Tabla 14.

Resumen de determinaciones sobre las muestras.

Análisis General de Suelos									
	Actividad	Color	Ca (mEq/l) / (mEq/100g)	Mg (mEq/100g)	Cl ⁻ (mEq/l) / (mEq/100g)	CO ₃ ²⁻ (mEq/l) / (mEq/100g)	HCO ₃ (mEq/l) / (mEq/100g)	CIC (moles carga/ Kg de suelo)	Acidez extraíble (mEq/100g)
M1	Cultivo de calabaza.	5YR 3/1 Gris muy oscuro.	12 / 1.2	0.4	2 / 0.2	4 / 0.4	4 / 0.4	0.128	9.6
M2	Cultivo de maguey o agave.	5YR 3/2 Café rojizo oscuro.	8 / 0.8	0.2453	4 / 0.4	2 / 0.2	4 / 0.4	0.048	8.4
M3	Cultivo de maíz.	5YR 3/2 Café rojizo oscuro.	10 / 1	0.3333	0	2 / 0.2	6 / 0.6	0.064	8.4
M4	Sin cultivar. Blanco.	5YR 3/1 Gris muy oscuro.	5 / 0.5	0.5226	6 / 0.6	4 / 0.4	8 / 0.8	0.192	9.6

Nota: Elaboración propia.

Dados los resultados, se afirma la hipótesis alternativa de que la práctica del monocultivo deteriora las propiedades químicas del suelo y como consecuencia, compromete la fertilidad y productividad en los terrenos de cultivo. Respecto a las determinaciones hechas sobre cada muestra, se puede concluir:

Muestra 1. Parcela dedicada al cultivo de calabaza: La prueba de color en seco por el método de la Tabla Munsell reportó una coloración ‘Gris muy oscuro’. Como explica Fertilab (2014), la coloración oscura del suelo puede señalar al contenido de materia orgánica bajo un determinado uso o gestión del suelo, sin embargo, también altos contenidos de sodio en el suelo pueden formar colores oscuros, esto debido a la disolución de la materia orgánica que ocurre a pH muy alcalino, la cual tiende migrar a la superficie.

La capacidad de acidez extraíble dio un resultado de 9.6 mEq/100g. De acuerdo con Perez (2013), esta propiedad representa la suma de los iones H^+ (o Al^{3+} que liberan H^+) que acompañan a las arcillas, es decir, no están actualmente dissociadas, pero que se disocian progresivamente a medida que se produce la neutralización o a medida que el suelo se va desarrollando. Se debe tener cuidado con la presencia de aluminio (Al^{3+}) en la solución del suelo ya que aporta a la acidez del suelo. Según Castellanos (2014), tan sólo una concentración de 2-5 ppm de aluminio en la solución de suelo es tóxica para cultivos sensibles, y más de 5 ppm es tóxico para cultivos tolerantes.

Por otra parte, la prueba de calcio (Ca) reportó un contenido de 1.2 mEq/100g, mientras que el contenido de magnesio (Mg) fue de 0.4 mEq/100g. De acuerdo con lo establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000, respecto a la porción de estos elementos, se les clasifica como 'clase muy baja. De acuerdo con LAT Nitrogen (s.f.), Ca está implicado como nutriente en la alimentación de las plantas y como regulador del estado de acidez del suelo. Por otro lado, según Cakmak y Yazici (s.f.), la deficiencia de Mg pone en riesgo la productividad y calidad de los cultivos, pues participa en el crecimiento radical y foliar, contribución y distribución de carbohidratos en los tejidos vegetales, entre otros. Respecto a la porción de cloruros (Cl^-) 0.2 mEq/100g, carbonatos (CO_3^{2-}) 0.4 mEq/100g y bicarbonatos (HCO_3^-) 0.4 mEq/100g, estas participan en la formación de sales importantes como $CaCO_3$, $KHCO_3$, $NaHCO_3$ que otorga buenas condiciones físicas y agregación al suelo (Laboratorios A-L de México, 2023).

La determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico por el método de saturación con acetato de sodio pH 8.2 dio un resultado de $0.0128 \frac{\text{moles carga}}{\text{Kg}}$. De acuerdo con la literatura, esto resulta en un tipo de suelo con CIC muy bajo, por lo que, respecto a esta propiedad, el suelo se clasifica como 'clase baja' y de 'baja reserva nutrimental'. Con base en el resultado este tipo de suelo es pobre en cuanto a fertilidad.

La vegetación es la que mayor influencia tiene sobre el desarrollo del suelo y la reserva de elementos nutritivos, por lo que se recomienda primeramente mantener cubierta la superficie del suelo con la vegetación natural o con cultivos de cobertura en asociación con los cultivos, favoreciendo el aporte continuo de la materia orgánica, mayor biodiversidad a nivel superficial y edáfico, prevención de plagas y malezas y, la restauración de la estructura y dinámica del suelo. Por otro lado, conforme a la literatura, un menor laboreo promueve un aumento en la población microbiana y mayor estabilidad estructural en el suelo, por lo que se recomienda el uso de equipos que reduzcan al mínimo posible la alteración mecánica sobre el

suelo, para conservar la población microbiana que participa en la descomposición de la materia orgánica.

Muestra 2. De acuerdo con la prueba de color por el método de la Tabla de Munsell, esta parcela empleada para el cultivo de maguey se reportó una coloración 'Café rojizo oscuro'. En ocasiones la coloración roja es propia de suelos bastante desarrollados en condiciones fuertemente aeróbicas. Según Garrido (1994), las coloraciones rojas son representativas de los óxidos de hierro (hematita), cuanto más oxidado esté el hierro (Fe^{3+}) más rojo aparece el suelo.

Por otro lado, de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, en cuanto al contenido de Ca con 0.8 mEq/L y Mg con 0.2453 mEq/100g, el suelo se clasifica como 'clase muy baja'. Asimismo, la deficiencia de estos elementos pone en riesgo el rendimiento de los cultivos, presentando bajo crecimiento radical y promoviendo la acidificación del suelo. Respecto a la porción de cloruros (Cl^-) 0.4 mEq/100g, carbonatos (CO_3^{2-}) 0.2 mEq/100g y, bicarbonatos (HCO_3) 0.4 mEq/100g, presentando igualmente una muy baja formación de sales que aportan a las condiciones físicas y agregación al suelo.

El potencial de acidez extraíble dio un resultado de 8.4 mEq/100g, que representa el potencial a generar acidez en el suelo si se libera, ya sea por neutralización (Pérez, 2013), o por el desarrollo del suelo. Por otro lado, la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico dio como resultado de $0.0048 \frac{\text{moles carga}}{\text{Kg}}$, y se clasifica como un suelo con CIC 'muy baja', es decir, de baja actividad fisicoquímica, y de 'baja reserva nutricional'. De acuerdo con Jaramillo (2002), esta condición puede dejar desprotegidos a los cationes y promover que estos nutrientes se pierdan más fácilmente por lixiviación o lavado. De igual manera, es recomendable atender a la recuperación de la dinámica y estructura del suelo. Conforme a la literatura, la inserción de cobertura vegetal permanente, en asociación con los cultivos, y la rotación anual o bianual de los cultivos, aportará a la biodiversificación y restablecimiento de las propiedades físicas del suelo como el contenido la humedad, adecuado suministro de oxígeno y, favoreciendo el proceso de mineralización de la materia orgánica para un mejor aprovechamiento de los elementos nutritivos por las plantas.

Muestra 3. La muestra 3 de la parcela bajo cultivo de maíz, mostró como resultado de la prueba por Tabla de Munsell, una coloración 'Café rojizo oscuro'. Esta

coloración puede indicar la intemperización o que se trata de un suelo altamente desarrollado, bajo condiciones fuertemente aeróbicas. Y de acuerdo con Fertilab (2014), esta coloración puede ser producida por minerales como la hematita (Fe_2O_3), goethita (FeO-OH).

En cuanto a la determinación de Ca y Mg, de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, este suelo se clasifica como 'clase muy baja por los contenidos de Ca de 1 mEq/100g, y Mg 0.3333 mEq/100g. El maíz, aunque como nutrientes secundarios, requiere de los nutrientes de Ca y Mg, por lo que su déficit puede afectar su crecimiento y rendimiento. La presencia de aniones como carbonatos (CO_3^{2-}) 0.2 mEq/100g y bicarbonatos (HCO_3) 0.6 mEq/100g, corresponde con la baja formación de sales que aportan a las condiciones físicas y agregación al suelo.

El potencial de acidez extraíble dio un resultado de 8.4 mEq/100g, clasifica al suelo con un potencial 'muy ácido'. De acuerdo con Molina (2007), dada esta clasificación, esto representa un riesgo si llega a formar parte de la solución del suelo ya que perjudicaría el crecimiento de las plantas. La determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) mostró un resultado de $0.0064 \frac{\text{moles carga}}{\text{Kg}}$, de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, el suelo puede calificarse como 'clase baja' y de 'baja reserva nutrimental'. De acuerdo con el resultado, el suelo es deficiente en absorción de nutrientes y agua, dando como resultado baja fertilidad y productividad del suelo. El aporte de los nutrientes proveniente de abonos o fertilizantes químicos puede cubrir temporalmente la necesidad para el desarrollo de ciertos cultivos, pero no frena el deterioro de las propiedades del suelo. Conforme a la literatura, es necesario atender a la recuperación natural de la dinámica y estructura del suelo con prácticas como la incorporación de coberturas vegetales permanentes, reduciendo la alteración mecánica del suelo, la rotación de cultivos, etc. Estas medidas preventivas ayudarán a suministrar de los elementos disponibles para la polimerización (principalmente para la formación de sales) y acumulación en el suelo como humus y, de manera simultánea, la mineralización con un aporte de nutrientes aprovechables para las necesidades de los cultivos.

Muestra 4. Para la muestra 4 de la parcela sin cultivar, la prueba de color en seco dio como resultado una coloración 'Gris muy oscuro'. En la *Figura 25*, se observa un comportamiento más homogéneo del contenido de los elementos. Dado que esta parcela se ha dejado descansar de la actividad agrícola, y tomando en cuenta el factor de la presencia de cobertura vegetal, es posible afirmar que el suelo está teniendo una progresiva una recuperación de su estructura y actividad,

principalmente gracias a la continua adición y descomposición de la materia orgánica y la conservación de las propiedades físicas del suelo.

De acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, en esta parcela el contenido de Ca de 0.5 mEq/L la clasifica como una 'clase muy baja', mientras que por su contenido de Mg de 0.5226 mEq/100g se le denomina 'clase baja'. Dependiendo el tipo de cobertura vegetativa es el consecuente aporte de materia orgánica en cuanto a la cantidad, calidad o tipo de materiales adicionados, por lo que se recomienda investigar sobre el tipo de cobertura que pueda ayudar significativamente en el aporte de los nutrientes deficientes. Asimismo, este suelo presenta bajo contenido de aniones como carbonatos (CO_3^{2-}) 0.4 mEq/100g y, bicarbonatos (HCO_3^-) 0.8 mEq/100g y cloruros (Cl^-) 0.6 mEq/100g.

De acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, el resultado obtenido de $0.0192 \frac{\text{moles carga}}{\text{Kg}}$ de la prueba de CIC, describe al suelo como 'clase baja' y de 'baja reserva nutrimental'. La ayuda de la materia orgánica en este punto es muy importante ya que, conforme a la literatura, el valor de la CIC se incrementa en el suelo al aumentar el contenido de materia orgánica, Al incrementarse la CIC del suelo aumenta la fertilidad del suelo y se evitan las pérdidas por lixiviación de los elementos necesarios para los cultivos.

REFERENCIAS

- Ansorena, J. (2005) *Fertilidad del suelo: acidez y complejo de cambio*. laboratorio agrario diputación foral de gipuzkoa. https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2228987/36_40_44.pdf/3b78fa33-2844-99f5-02f4-c1188ca5a77d
- Burbano, H. (1989) *El Suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos*. Universidad de Nariño. Pasto. 447 p.
- Burt, R. (2004) *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 4.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-A57-PURL-gpo93947/pdf/GOVPUB-A57-PURL-gpo93947.pdf>
- Cakmak, I.; Yazici, A. M. (s.f.) *El Magnesio, un nutriente olvidado que puede salvar el cultivo*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/magnesio-nutriente-olvidado-salvar-cultivo>
- Cardoza, R. (2013) *Estado, prioridades y necesidades para el manejo sostenible del suelo en México. Taller de lanzamiento de la alianza mundial por el suelo: hacia la prevención y restauración de suelos degradados en Centro América y el Caribe*. FAO. Cuba. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/docs/Central_America_WS/mexico2.pdf
- Castellanos, J. Z. (2014) *Acidez del Suelo y su Corrección*. Hojas Técnicas de Fertilab, México. 4 p. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo> -
- Castro, H. (1995) *Producción sostenible de cultivos utilizando técnicas biológicas y conservacionistas: “Un modelo aplicable al trópico cálido colombiano”*. Suelos Ecuatoriales 25: 94-100.
- CONABIO (2011). *La Biodiversidad en Puebla*. Estudio de Estado. México. CONABIO, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/QH77.P8B562011.pdf>

- FAO (2004) *Carbon sequestration in dryland soils. World Soils Resources Reports*. No. 102. FAO. Rome. www.fao.org/docrep/007/y5738e/y5738e00.htm.
- FAO. (s.f.) *Agricultura de conservación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>
- FAO. (s.f.) *Cultivos de cobertura. Cartilla Tecnológica 7*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/4/V5290S/v5290s32.htm>
- Fertilab (2014) *El color del suelo como indicador de su fertilidad*. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20Color%20del%20Suelo%20como%20Indicador%20de%20su%20Fertilidad.pdf>
- García, E., y Aguilera, M. (2023) *Antecedentes para una definición formal del concepto "monocultivo forestal"*. Revista Ciencia & Investigación Forestal Vol. 29 No. 1. Instituto Forestal, sede Biobio. <https://revista.infor.cl/index.php/infor/article/download/584/613/903>
- Garrido V., M. S. (1994) *Interpretación de análisis de suelos*. Hojas Divulgadoras, Núm. 5/93 HD. Ministerio de Agricultura pesca y alimentación. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Guízar, E., Granados, D., y Castañeda, A. (2010) *Flora y vegetación en la porción sur de la mixteca poblana*. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 16(2), 95-118. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v16n2/v16n2a1.pdf>
- Hernández, J., Franco, F., Villarreal, O., Camacho J., y Pedraza R. (2011) *Caracterización socioeconómica y productiva de unidades caprinas familiares en la Mixteca Poblana*. Archivos de Zootecnia, vol. 60, núm. 230, pp. 175-182. Universidad de Córdoba. España. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49520779002.pdf>

- IGN (Instituto Geográfico Nacional) (2009) *Cambisol*. Gobierno de España. https://www.ign.es/espmap/figuras_bio_bach/pdf/bio_fig_11_texto.pdf
- INEGI (2010) *Compendio de Información Geográfica Municipal 2010: Huehuetlán el Grande, Puebla*. México.
- INEGI (2007) *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Serie II, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional)*. México.
- INEGI (2005) *Guía para la interpretación de cartografía, uso potencial del suelo*. México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231774/702825231774_1.pdf
- INEGI (2012) *Síntesis estadísticas municipales 2012. Huehuetlán el Grande, Puebla*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/sintesis_municipales_estadisticas/2012/pue/C21150.xls
- INEGI y Secretaría de Planeación y Finanzas (2020) *Información Demográfica y Social / Municipio de Huehuetlán el grande*. Gobierno de Puebla. https://ceigep.puebla.gob.mx/fichas/demosocial/150/HUEHUETL%C3%81N_EL_GRANDE
- IUSS Grupo de Trabajo WRB (2007) *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. Primera actualización 2007. FAO. Roma. <https://www.fao.org/4/a0510s/a0510s00.htm>
- Izaguirre, R. I. (2012) *Estudio de uso actual y potencial del ejido “La Pendencia” en el municipio de Pinos, Zacatecas*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Agronomía. Tesis para obtener título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3438/IAZ1E-ST01201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jaramillo J. D. F. (2002) *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf>
- Laboratorios A-L de México S.A de C.V. (2023) *Salinidad y sales solubles en el suelo. Importancia, medición y control*. Agricultura Razonada. <https://www.laboratoriosaldemexico.com.mx/wp-content/uploads/2023/11/Salinidad-y-Sales-Solubles-en-el-Suelo.pdf>
- LAT Nitrogen (s.f.) *Calcio (Ca)*. LAT Nitrogen Austria GmbH. [https://www.lat-nitrogen.com/es/es/nutrients/calcium-\(ca\)-4](https://www.lat-nitrogen.com/es/es/nutrients/calcium-(ca)-4)
- Molina, E. (2007) *Análisis de suelos y su interpretación*. Amino Grow Internacional. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. <https://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Moreno, A., Villadiego, L. & Castro, N. (2019) *Los monocultivos que conquistaron el mundo: impactos socioambientales de la caña de azúcar, la soja y la palma aceitera*: (ed.). Ediciones Akal. <https://elibro.bibliotecabuap.elogim.com/es/ereader/bibliotecasbuap/123994?page=10>
- Muñoz Andrés, V. Álvarez Rodríguez, J. & Asedegbega Nieto, E. (2019). *Gestión y conservación de aguas y suelos*: (Ed.). UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://elibro.bibliotecabuap.elogim.com/es/ereader/bibliotecasbuap/124639?page=318>
- Navarro, G. Pérez-Lucas, G. & Navarro, S. (2022). *Análisis de suelos y aguas: aplicación agrícola*: (1 ed.). Dextra Editorial. <https://elibro.bibliotecabuap.elogim.com/es/ereader/bibliotecasbuap/228505?page=54>
- Norma Oficial Mexicana (2020) *NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex50674.pdf>

- Perez, E. (2013) *Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de química del recinto de Grecia, Sede de Occidente*. Universidad de Costa Rica. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, vol. XIV, núm. 29, julio-diciembre, 2013, pp. 6-18. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66629448001.pdf>
- PROFECO (2021) *Asociación y rotación de cultivos*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/asociacion-y-rotacion-de-cultivos?idiom=es>
- PROFEPA (2022) Día mundial de la lucha contra la desertificación y la sequía. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/profepa/articulos/dia-mundial-de-la-lucha-contra-la-desertificacion-y-la-sequia-305467>
- Rigillo, N. (2022) *Suelos sanos para una población y un planeta sanos: la FAO reclama que se revierta la degradación de los suelos*. FAO. Berlín. <https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/es>
- Rodale Institute (s.f.) *Cultivos de cobertura*. Rodale Institute. Pensilvania. <https://rodaleinstitute.org/es/why-organic/organic-farming-practices/cover-crops/>
- Sadzawka R., A. (1990) *Métodos de análisis de suelos*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie La platica No. 16. Santiago, Chile. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/34317dc0-42bb-411e-8e86-e3b3fb1a5a7d/content>
- Secretaría de Planeación y Finanzas y el INEGI (2017-2021) *Usos de suelo y vegetación*. Gobierno de Puebla. https://ceigep.puebla.gob.mx/fichas/geografico/150/HUEHUETL%C3%81N_EL_GRANDE
- Secretaría de Planeación y Finanzas y SMADSOT (2019) *Información Geográfica y Medio Ambiente*. Gobierno de Puebla. https://ceigep.puebla.gob.mx/fichas/geografico/150/HUEHUETL%C3%81N_EL_GRANDE
- SEMARNAT (s.f.) *Recuadro. Los servicios ambientales del suelo*. Gobierno de México.

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro3_2.html

- SEMARNAT (2013) *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental.* Edición 2012. Gobierno de México. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001623.pdf>
- SEMARNAT (2015). *¿Sabes cuál es la importancia de los suelos?* Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sabes-cual-es-la-importancia-de-los-suelos>
- SEMARNAT (2024) *Maximizando la tierra: La rotación de cultivos.* Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maximizando-la-tierra-la-rotacion-de-cultivos?idiom=es>
- Solís, M. (2011). *Levantamiento edafológico y agrológico con fines de planificación agropecuaria de la hacienda Bernabé Pedro Vicente Maldonado Ecuador.* Tesis Ing. Agr. Quito. p. 30-35. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3274/1/T-ESPE-IASA%20I-004538.pdf>
- UNESCO (2 de julio de 2024) *Alerta mundial de la UNESCO sobre la rápida degradación de los suelos.* Comunicado de prensa. <https://www.unesco.org/es/articulos/alerta-mundial-de-la-unesco-sobre-la-rapida-degradacion-de-los-suelos>
- USDA (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos.* <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Yanes, G., y Morón, M. (2010) *Fauna de coleópteros Scarabaeidea de Santo Domingo Huehuetlán, Puebla, México. Su potencial como indicadores ecológicos.* Acta zoológica mexicana, vol. 26, no. 1 Xalapa. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000100009

