



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**COMPARACIÓN DE LA FERTILIDAD DE SUELOS
AGRÍCOLAS DE USO ACTUAL, EN DESCANSO Y CON
VEGETACIÓN ORIGINAL, EN SAN ANTONIO
TEXCALA, PUEBLA**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

ESTRADA PÉREZ GUILLERMO ADRIÁN



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. MAYRA MÓNICA HÉRNADEZ MORENO
LOS REYES IZTACA, ESTADO DE MÉXICO, 2022**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A mi directora de tesis, la Dra. Mayra Mónica Hernández Moreno, por su profesionalismo, paciencia, conocimiento y tenacidad para guiar esta investigación. Sin embargo, existe algo más importante que agradecer que es la amistad y el tiempo, que tal vez, dos o tres minutos, dos o tres horas, no sean nada en una vida, pero fueron minutos de oro y horas sublimes en mi formación como profesionista y como persona.

A mis profesores el Dr. Daniel Muñoz Iniestra, al Biol. Alfonso Soler Aburto y al Dr. Francisco López Galindo, quienes se encargaron de brindarme su apoyo, conocimiento y experiencia de principio a fin durante mi estancia en la Universidad.

A mis tutores la Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda, el Mtro. Humberto Macías Cuéllar y a la Dra. Teresa González Ruíz quienes, con su experiencia, conocimiento motivación me orientaron en la investigación y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Al Sr. Vicente Pacheco Espinoza, Comisariado Ejidal de San Antonio Texcala (2013-2016) y a todo su equipo de trabajo, por todas las facilidades, interés y apoyo brindado, para la definición y desarrollo de este trabajo.

A las y los habitantes de San Antonio Texcala, por abrimos las puertas de su comunidad.

Por último, a mis amigos y familiares que me apoyaron incondicionalmente.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. HIPÓTESIS.....	5
4. OBJETIVOS.....	5
4.1. General.....	5
4.2. Particulares.....	5
5. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
6. METODOLOGÍA.....	10
7. RESULTADOS.....	16
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
9. CONCLUSIONES.....	34
10. BIBLIOGRAFÍA.....	36
11. RECOMENDACIONES.....	39
ANEXO 1.....	41
ANEXO 2.....	43
ANEXO 3.....	45
ANEXO 4.....	52
ANEXO 5.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Localización del Ejido San Antonio Texcala, Puebla, México.....	7
Figura 2. Fotos de las parcelas. a) Parcelas actualmente cultivadas (PA), b) Parcelas con descanso (PD), c) Terrenos con cobertura vegetal original (CV).....	11
Figura 3. Localización del Paraje El Rincón y de los sitios de muestreo.....	17
Figura 4. Porcentaje de porosidad del suelo de las parcelas analizadas.	20
Figura 5. Capacidad de campo del suelo de las parcelas analizadas	20
Figura 6. Valores de la lámina de agua que se forma en las parcelas analizadas.....	21
Figura 7. Valores de respiración edáfica de las parcelas analizadas.	21
Figura 8. Contenido de materia orgánica del suelo en las parcelas analizadas.	22
Figura 9. Valores de pH real del suelo en las parcelas analizadas.	22
Figura 10. Valores de capacidad de intercambio catiónico del suelo de las parcelas analizadas.....	23
Figura 11. Contenido de calcio intercambiable del suelo de las parcelas analizadas.....	23
Figura 12. Contenido de magnesio intercambiable del suelo de las parcelas analizadas.	23
Figura 13. Contenido de nitrógeno total del suelo de las parcelas analizadas.....	24
Figura 14. Contenido de fósforo asimilable del suelo de las parcelas analizadas.	24
Figura 15. Contenido de potasio intercambiable del suelo en las parcelas analizadas.....	25
Figura 16. Índice de fertilidad del suelo de las parcelas analizadas.....	25

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Grupos de parcelas muestreadas.....	10
Cuadro 2. Propiedades de suelos valoradas y técnicas analíticas usadas	13
Cuadro 3. Ecuaciones para la normalización de los indicadores físicos y biológicos. En donde X= valor del indicador medido; Y= valor del indicador normalizado; ln= logaritmo natural.	14
Cuadro 4. Categorización de IFS propuesta por el autor	15
Cuadro 5. Contenido de arenas, arcillas y limos, clase textural y color en seco y húmedo del suelo de las parcelas analizadas.....	19
Cuadro 6. Análisis ANOVA de un factor.	26
Cuadro 7. Tasa de cambio de las parcelas CV con PA y PA con PD.	26

RESUMEN

En el ejido de San Antonio Texcala, en el municipio de Zapotitlán del estado de Puebla, se cuenta con un Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) que se construyó de manera participativa, para emprender los estudios y los acuerdos necesarios con los distintos actores sociales que permitieran la elaboración de un plan de acción para orientar los procesos productivos y sociales hacia el desarrollo sustentable, denominado Plan de Acción Comunitario (PAC). En este estudio se analizó la fertilidad de los suelos agrícolas del paraje El Rincón de San Antonio Texcala. El objetivo fue comparar la fertilidad de las tierras en uso y en descanso con los terrenos con vegetación original. Para ello se definieron 3 grupos de parcelas con base en el tiempo de uso y descanso, uso actual (PA), descanso de 5 a 7 años (PD) y con cobertura vegetal original (CV). Se identificaron las estrategias de manejo de las parcelas, además se mapeó la localización de los sitios de trabajo y se calculó un índice de fertilidad del suelo (IFS) utilizando indicadores físicos, químicos y biológicos. Para evaluar si existen diferencias entre los grupos se llevó a cabo un análisis de varianza de un factor y se compararon los índices de fertilidad entre los grupos mediante el cálculo de la tasa de cambio. Las parcelas estudiadas son de temporal, en donde se cultiva maíz y ocasionalmente frijol. Para fertilizar utilizan estiércol de chivo sin composteo previo, protegen el cultivo con cercas de mezquite y barreras de agave para impedir la entrada de animales de pastoreo en especial chivos. Las malezas son controladas de manera manual con una visita quincenal. Además, no se identificaron problemas de plagas, las semillas utilizadas para la siembra son de origen local, el manejo de las parcelas se realiza de acuerdo a las enseñanzas de sus padres y abuelos. Las tierras son identificadas como negras y buenas para el cultivo, siendo las limitantes para cultivar el desabasto de agua, la poca productividad de la parcela, la falta de disponibilidad de un tractor y la lejanía de la zona. Se obtuvo un IFS para PA y PD medio, mientras que para CV fue alto, aunque no se encontraron diferencias estadísticas entre los grupos, es decir, no hay un cambio considerable en la fertilidad entre estos suelos. Sin embargo, la tasa de cambio, entre CV y PA fue de -12.51%, mientras que entre PA y PD fue de -2.8 %, esto implica que la fertilidad de los terrenos con vegetación original disminuyó al ser utilizados con fines agrícolas, mientras que el tiempo de descanso de las parcelas utilizadas no fue suficiente para evidenciar una recuperación de la fertilidad. Contar con esta información permite dar seguimiento principalmente al programa de uso tradicional del PAC.

"El cosmos es todo lo que es, todo lo que fue y todo lo que alguna vez será. Nuestras más ligeras contemplaciones del cosmos nos hacen estremecer: sentimos como una suerte de cosquilleo, nos llena los nervios, una voz muda, una ligera sensación... como si de un recuerdo lejano o como si cayéramos desde una gran altura. Sabemos que nos aproximamos al más grande de los misterios".

Carl Edward Sagan

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural, producto de la acción combinada de los procesos de formación (meteorización, intemperismo, erosión) del material parental o roca madre, mediante los cuales ocurren los diferentes procesos que le dan origen (Cairo y Fundora, 1994). Es el resultado de la interacción de cinco factores formadores: clima, organismos, relieve, litología y tiempo (Bould et al., 1981). Con el conocimiento de las propiedades de sus componentes, se pueden interpretar los procesos y factores que determinan su funcionamiento, lo cual permite, su manejo y aprovechamiento racional, de acuerdo con su aptitud natural y con las necesidades de la población (Cairo y Fundora, 1994).

Está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa, que de forma integrada ofrecen soporte mecánico, y sustento al desarrollo de las plantas (Navarro y Navarro, 2003). Independientemente de su origen, provee cuatro servicios ecosistémicos primordiales: soporte, regulación, provisión y cultural (Doran y Parkin, 1994). Por ello, los microorganismos que en él habitan (nemátodos, bacterias, hongos) son fundamentales para la producción agrícola y para el establecimiento de los sistemas naturales, debido a que llevan a cabo diversos procesos vitales tales como la respiración, nitrificación y humificación, que favorecen el reciclaje de los nutrientes (Navarrete *et al.*, 2011).

Considerando lo anterior y que los suelos son el medio en el cual los cultivos crecen para alimentar y de los cuales se obtienen elementos útiles al ser humano (textiles, combustibles, entre otros), conocer la fertilidad de los suelos es una necesidad básica para la producción de cultivos (FAR et al., 1998). En ese sentido, un suelo fértil es aquél que tiene la capacidad de abastecer los nutrientes suficientes al cultivo, asegurando el crecimiento y desarrollo de la planta, con la capacidad para producir cosechas sanas y abundantes, o sostener una vegetación en condiciones cercanas a las óptimas (Etchevers, 2000).

En el ejido de San Antonio Texcala, localizado en la Mixteca Poblana, al suroeste del Estado de Puebla, se cuenta con el Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC), que presenta un proceso de planificación de uso del territorio que se construyó de manera participativa, para el que se llevaron a cabo los estudios y los acuerdos necesarios con los distintos actores

sociales que inciden en el territorio, siendo la base para la elaboración de un plan de acción denominado Plan de Acción Comunitario (PAC) que orienta los procesos productivos y sociales hacia el desarrollo sustentable, (Macías-Cuéllar et al., 2010).

La finalidad del OTC es brindar los elementos necesarios para el aprovechamiento sustentable de los diversos recursos con los que cuenta el ejido de San Antonio Texcala. Como resultado del proceso de ordenamiento se propusieron siete categorías de uso del suelo y 21 estrategias para el manejo de recursos (Macías-Cuéllar et al., 2010), dentro de las cuales, la categoría de uso tradicional del suelo comprende la estrategia del manejo tradicional de los sistemas agropecuarios.

Bajo este contexto, diversos proyectos se han desarrollado en la localidad. De manera general, las temáticas que se han abordado son: la evaluación de la calidad de los suelos agrícolas, la estimación de la pérdida del suelo, la evaluación de las prácticas de conservación del suelo, la caracterización de los recursos hídricos, el aprovechamiento de algunos recursos forestales no maderables de importancia para la comunidad, el inventario de algunos grupos biológicos importantes como los insectos, así como el estudio de la diversidad de microorganismos del suelo, asociadas a las costras microbiológicas (Pérez-Juárez et al., 2017).

En ese sentido, en este estudio se pretende conocer la fertilidad de los suelos agrícolas de San Antonio Texcala, lo cual permitirá documentar la condición actual del estado del suelo y de su funcionamiento. Con esto se aportarán elementos para cubrir la estrategia de uso y manejo tradicional, apoyando el proceso de manejo de los recursos naturales, el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, y el desarrollo local de esta comunidad, bajo un modelo de gestión territorial y rural.

2. ANTECEDENTES

El suelo de la zona semiárida la cuenca de Zapotitlán en el Valle de Tehuacán en el estado de Puebla México, ha sido estudiado por diversos autores, entre ellos López et al. (2003), quienes realizaron un análisis integral de una toposecuencia, documentando su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo, con la finalidad de aportar información básica para diseñar estrategias de conservación y rehabilitación de sistemas naturales deteriorados del área. Los resultados del trabajo indicaron que, bajo las condiciones actuales, la mayoría de los suelos no tiene características favorables para la agricultura y aportaron información básica acerca de las condiciones ambientales y bióticas de la zona.

Por su parte, Santiago (2007) realizó un estudio de la fertilidad de los suelos agrícolas de las terrazas aluviales en función del análisis y valoración de las propiedades físicas y químicas y el diagnóstico agroambiental, con la finalidad de identificar puntos críticos de los agroecosistemas. Las terrazas aluviales presentaron suelos de tipo Fluvisol y Regosol, muy profundos y con drenaje deficiente, El 63% de ellos mostraron fertilidad baja debido a la escasez de materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Además, el autor reconoció que los factores externos que limitaban la productividad agrícola eran las lluvias escasas y aleatorias, la emigración, la poca asesoría técnica. Con toda esta información, concluyó que el 70% de las parcelas agrícolas estaban abandonadas, la disminución de la fertilidad de los suelos era debido a las malas prácticas agrícolas y la destrucción de la cobertura vegetal original.

En el mismo año Sánchez (2007), realizó un análisis comparativo de la calidad de los suelos agrícolas y los protegidos por vegetación natural, buscando identificar diferencias entre estas dos condiciones de cobertura. Determinó las propiedades físicas y químicas de los suelos de una terraza aluvial con vegetación natural y con uso agrícola. Concluyó que las propiedades del suelo que mostraron una mayor diferencia entre las dos condiciones fueron: textura, estabilidad de agregados, materia orgánica, carbonatos, nitrógeno, fósforo y potasio. Por tanto, propuso a éstas propiedades como indicadores de la calidad del suelo. Además encontró que la eliminación de la cobertura vegetal natural afectó negativamente la calidad

del suelo y concluyó que el uso prolongado del suelo para actividades agrícolas, la falta de prácticas de rotación de cultivo y las malas prácticas de fertilización, también afectaron el funcionamiento del suelo.

En 2013a, Muñoz y colaboradores publicaron un artículo con el propósito de conocer si existía una relación entre el tipo de cobertura y la degradación física y biológica del suelo. El área de estudio fue una terraza fluvial, en donde prevalece un clima semiseco, semicálido y un suelo tipo Fluvisol calcárico. El uso del suelo lo conformaba una combinación de parches de matorral espinoso, separados por claros con suelo desnudo y tapetes de costras microbióticas y terrenos agrícolas. Los resultados obtenidos indicaron que la degradación física y biológica del suelo está significativamente relacionada con la cobertura o uso del terreno, que el principal impacto sobre el funcionamiento físico del suelo se debe a la reducción del espacio poroso, la pérdida de la estabilidad de los agregados, la formación de costras y el aumento de la densidad aparente. Todo ello indicó que la degradación física y biológica del suelo es consecuencia de la reducción del contenido de materia orgánica.

Por último, en la misma cuenca de Zapotitlán Salinas, Ferreira (2015) evaluó el nivel de la degradación química y biológica del suelo en dos terrazas aluviales y sus niveles de fertilidad. Trabajó en dos sitios con suelos aluviales, con diferentes coberturas y usos de suelo. Encontró que el índice de degradación biológica, indica que, a menor cobertura vegetal, mayor degradación. La valoración del índice de degradación química por salinidad, mostró que las terrazas no presentan problemas por exceso de sales. De hecho, la mayoría de los suelos presentaron niveles medios de fertilidad, excepto por las zonas de mayor aporte de materia orgánica en donde se encontraron valores altos de fertilidad, mientras que fueron bajos en los suelos sin cobertura vegetal. Concluyó que, aunque las dos terrazas tienen texturas diferentes, los resultados fueron similares, encontrando que los suelos sin cobertura vegetal o en donde esta fue retirada, el índice de degradación biológica fue mayor y los niveles de fertilidad fueron menores.

3. HIPÓTESIS

Dado que el uso del suelo para actividades agrícolas afecta su fertilidad, se espera que las parcelas actualmente cultivadas tengan una menor fertilidad que los terrenos con cobertura vegetal original y sin actividades agrícolas actualmente.

El tiempo de descanso en las parcelas agrícolas permite el incremento de la fertilidad de los suelos, por lo que se espera que las parcelas con más tiempo en descanso, tengan una mayor fertilidad que las que actualmente están siendo cultivadas.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Comparar la fertilidad de los suelos agrícolas actualmente en uso y en descanso con los terrenos con vegetación original, con la finalidad de documentar la condición del estado del suelo y de su funcionamiento; en el contexto de la estrategia de manejo tradicional de los sistemas agropecuarios de San Antonio Texcala, Puebla.

4.2. Particulares

- ❖ Localizar y mapear la distribución de las parcelas y las zonas que preservan cobertura vegetal original en el paraje El Rincón.
- ❖ Conocer las estrategias de manejo, y el tiempo de uso y descanso de las parcelas agrícolas.
- ❖ Medir la fertilidad de los suelos agrícolas, mediante la estimación de un índice de fertilidad del suelo.
- ❖ Comparar el nivel de fertilidad de las parcelas agrícolas con uso actual y en descanso, con los terrenos con vegetación original, mediante un análisis de varianza y estimar su tasa de cambio de fertilidad.

5. ÁREA DE ESTUDIO

El ejido San Antonio Texcala pertenece al municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla, que a su vez forma parte del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Se ubica a 9 kilómetros de la ciudad de Tehuacán entre los 18° 21' 48" y 18° 26' 33" latitud norte y los 97° 25' 32" y 97° 29' 58" longitud oeste (Figura 1). Presenta un clima semiárido semicálido <BS1hw>, con una temperatura media anual de 12°C a 18°C y una precipitación media anual de 400 a 500 mm (Macías-Cuéllar et al. 2010).

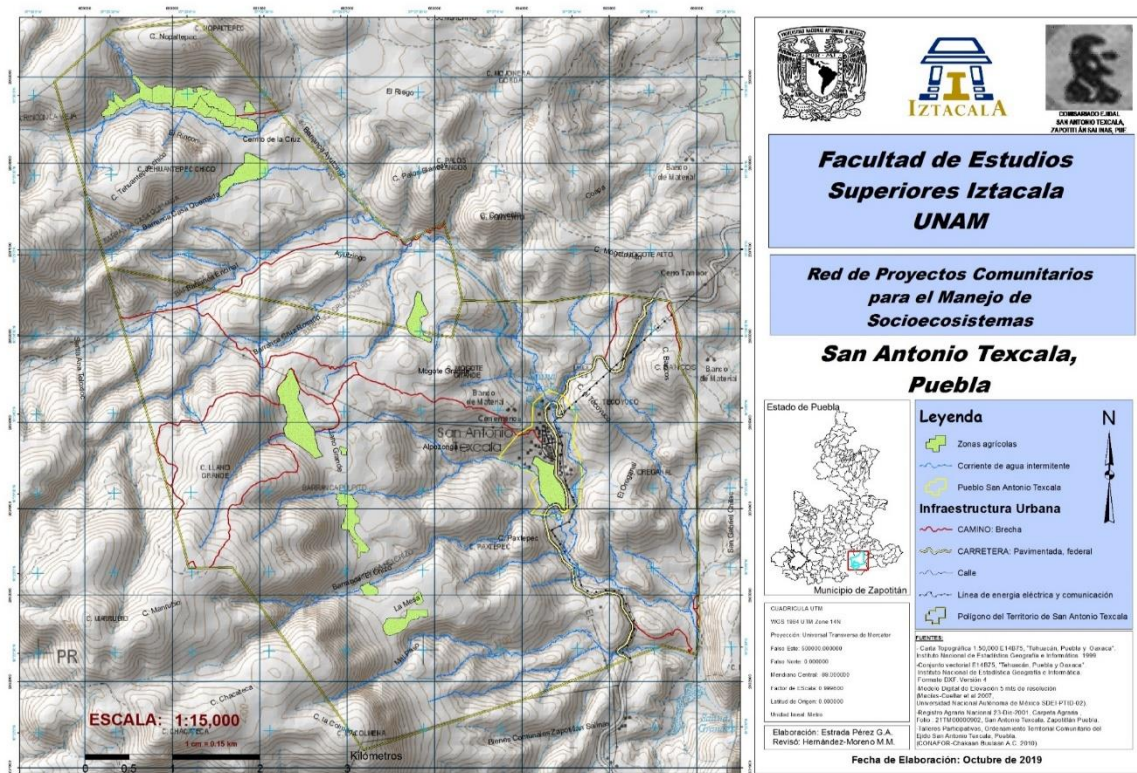


Figura 1. Localización del Ejido San Antonio Texcala, Puebla, México

Al ser parte del Valle de Tehuacán presenta un relieve montañoso muy complejo, como resultado de la acción de múltiples procesos endógenos y exógenos que hoy podemos ver reflejados en la variación altitudinal y fluctuaciones de la pendiente, así como en sus formas tales como: elevaciones, piedemontes, planicies denudativas y estructurales, elevaciones menores y terrazas fluviales. Las elevaciones definen formas como lomas, cerros y sierras

con cimas redondeadas, cuestras y laderas convexas; son de origen tectónico con estructuras plegadas y con modelado erosivo. En la base encontramos los piedemontes (la mayoría denudativos) y las planicies. Estas últimas son superficies rebajadas a causa de la erosión diferencial, lo que provoca un desgaste irregular de los materiales y su acumulación en las terrazas (Hernández-Moreno, 2006; Valiente-Banuet et al., 2000).

Geológicamente se encuentra constituido por una secuencia de lutitas calcáreas con micas, su color es gris y su estratificación es delgada; además, tiene intercalaciones de caliza, arenisca y marga y, ocasionalmente de conglomerado, formadas en el Cretácico Temprano (Valiente-Banuet et al., 2000; López et al., 2003). Se reporta al Leptosol calcárico-lítico y al Regosol calcárico-epilítico como tipos de suelo dominantes. El primero ubicado al centro y hacia el norte (en donde se encuentran las parcelas en estudio, en el paraje El Rincón) y el segundo hacia el sur del ejido (INEGI, 2013). Los Leptosoles son suelos jóvenes, que presentan sólo un horizonte A delgado, sobre un incipiente horizonte B, que se han desarrollado directamente sobre el material parental inalterado. Los Regosoles son suelos minerales, débilmente desarrollados sobre materiales no consolidados que tienen sólo un horizonte superficial ócrico (pobre en materia orgánica) y no son profundos (Bould et al., 1981).

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán, junto con la Cuenca del Balsas, mantienen la mayor diversidad de cactáceas columnares del continente. Estas especies llegan a formar bosques con una densidad tal, que pueden alcanzar hasta 1800 individuos por hectárea (considerando solamente las plantas mayores de un metro de altura) y donde podemos encontrar asociaciones vegetales en las que el elemento fisionómico dominante es el tetecho, perteneciente al género *Neobuxbaumia* spp, llamadas “tetecheras”, hoy pertenecientes al género *Cephalocereus* (Hernández-Moreno et al., 2021). También se establecen especies pertenecientes a los géneros *Pachycereus*, *Stenocereus*, *Mitrocereus* y otras de *Cephalocereus*, que son conocidos como “cardones” (Valiente-Banuet et al., 2009).

En San Antonio Texcala predominan los cardonales de *Cephalocereus columna-trajani*, en laderas con suelos sobre rocas calizas, por lo general entre los 1500 y 1700 msnm; los de

Mitrocereus fulviceps, que se localizan a una altitud de 1700 a 2000 msnm, en laderas y cerros con roca caliza. Izotales de *Yucca periculosa* que se pueden encontrar alrededor de los 1700 msnm de altitud, predominando en zonas calizas de suelos someros. En menor proporción, se encuentra el Palmar de *Brahea dulcis*, que se establece entre los 1600 a 1750 msnm y el Matorral de *Echinocactus platyacanthus*, que está entre los 1600 y 1800 msnm, en áreas con roca caliza expuesta, principalmente en laderas muy empinadas. En la sierra de la zona poniente del ejido, se encuentra el matorral de *Gochnatia hypoleuca*, después de los 2200 msnm, sobre laderas altas y en algunas de ellas se encuentran relictos de matorral con arbustos esclerófilos perennifolios sin espinas (Mexical) (Macías-Cuéllar et al., 2010)

6. METODOLOGÍA

6.1. Etapa documental

La investigación inició con la recopilación de información relativa al área de estudio, analizando información bibliográfica y cartográfica (clima, fisiografía, geomorfología, edafología, vegetación y uso de suelo), además de una revisión conceptual acerca de la fertilidad de los suelos para fortalecer los marcos teórico y metodológico del proyecto.

6.2. Etapa prospectiva

Con base en la cartografía e imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth v.7), en lo planteado en el OTC y el PAC de San Antonio Texcala (Macías-Cuéllar et al. 2010), y en acuerdo con las autoridades ejidales y los propietarios de los terrenos agrícolas, se seleccionaron las unidades de muestreo, definiendo un total de 3 grupos de parcelas con base en el tiempo de uso y descanso, en los que se muestrearon 46 sitios para medir la fertilidad del suelo (Cuadro 1). Los sitios son: parcelas actualmente cultivadas (Grupo PA), parcelas con descanso de la producción agrícola de 5 a 7 años (Grupo PD) y terrenos que conservan su cobertura vegetal original (Grupo CV) (Figura 2).

Cuadro 1. Grupos de parcelas muestreadas.

Grupo	Parcela (unidad de muestreo)	Cobertura	Clave	No. muestras
PA	Actualmente cultivada	Cultivo de Maíz	PA1	6
	Actualmente cultivada		PA2	6
	Actualmente cultivada		PA3	7
PD	Con descanso de 5 a 7 años	Pastos y plantas anuales	P12	5
	Con descanso de 5 a 7 años	Pastos y plantas anuales	P7	6
	Con descanso de 5 a 7 años	Plantas anuales	P5AB	7
CV	Con cobertura vegetal original	Mezquital, Matorral espinoso con especies acompañantes como Yucas y Cardones	CV1	3
	Con cobertura vegetal original		CV2	3
	Con cobertura vegetal original		CV3	3

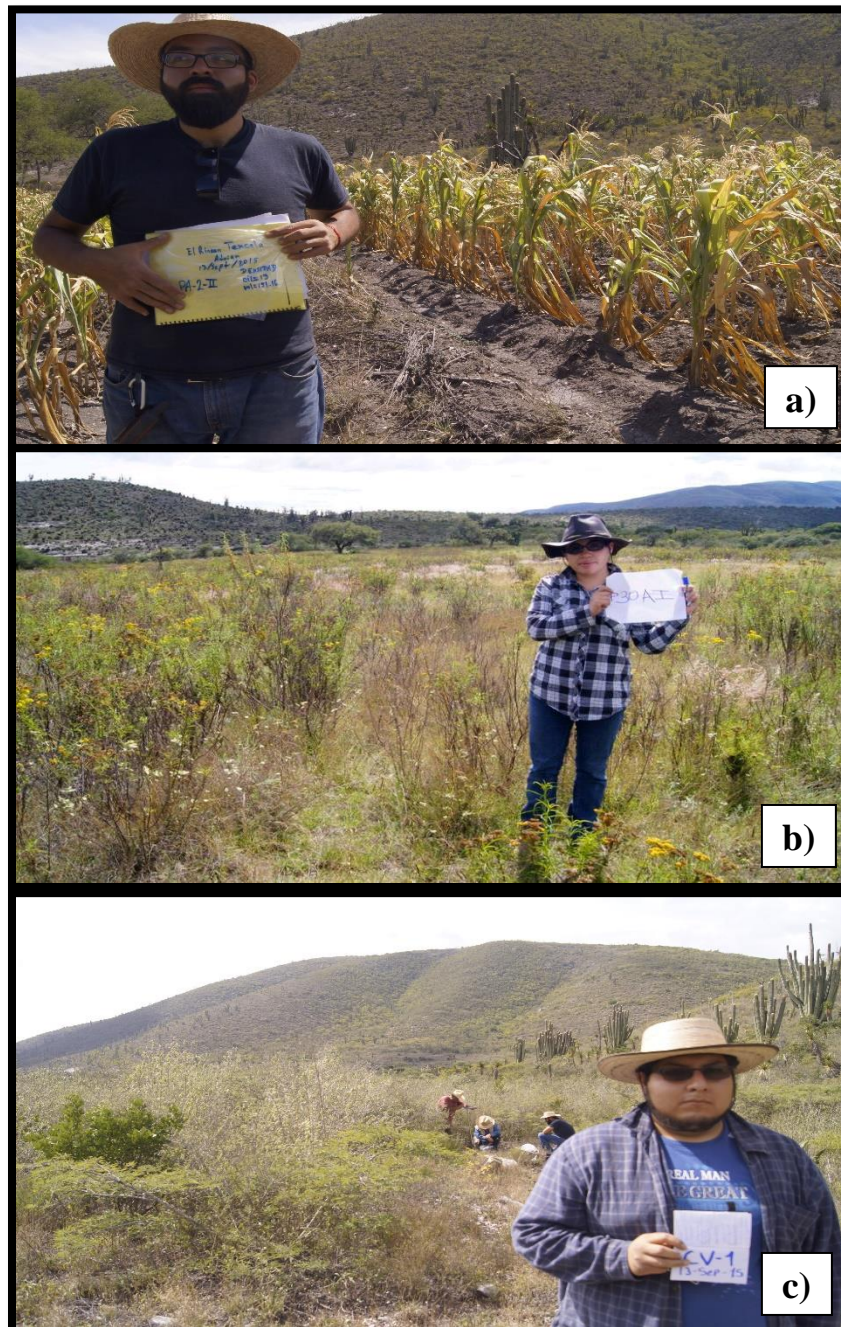


Figura 2. Fotos de las parcelas. a) Parcelas actualmente cultivadas (PA), b) Parcelas con descanso (PD), c) Terrenos con cobertura vegetal original (CV)

Para identificar las estrategias de manejo de las parcelas se retomaron los criterios de Galdámez et al. (2007), realizando encuestas (Anexo 1) a los propietarios. Con las imágenes satelitales de alta resolución del programa Google Earth v.7, el programa ArcGIS 10.2, y la información recopilada con un GPS Garmin 60CSx, se mapearon los sitios de muestreo.

6.3. Etapa de campo

Para el registro de datos ambientales y colecta de las muestras, se manejaron los criterios de USDA (1999) y el formato que se emplea en el laboratorio de Edafología de la FES Iztacala. Se realizaron dos salidas al sitio de estudio en septiembre y octubre de 2015 para reconocer el área, identificar y seleccionar los sitios de colecta, levantar información ambiental y coleccionar las muestras. Se tomaron de 3 a 7 muestras de suelo a 30 cm de profundidad por unidad de muestreo, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2000). Para el mapeo de los sitios se realizó el levantamiento de la información con un GPS Garmin 60CSx.

6.4. Etapa de laboratorio

De acuerdo con Etchevers (2000), Navarro y Navarro (2003), Plaster (2005), Santiago (2007) y Porta (2008), las propiedades físicas del suelo que se emplearon como indicadores para medir el índice de fertilidad del suelo (IFS) fueron los siguientes: porcentaje de arenas, arcillas, porosidad, y de humedad a capacidad de campo, y lámina de agua (cm). Los indicadores biológicos fueron el porcentaje de materia orgánica y la respiración edáfica. Por último, se utilizaron los indicadores químicos: pH real, capacidad de intercambio catiónico, contenido de calcio y magnesio y potasio intercambiables, nitrógeno total y fósforo asimilable.

Además, se identificó el color y se estimó la clase textural, aunque los datos de estos parámetros no se incorporaron al cálculo del IFS. La mayoría de las técnicas analíticas para medir los indicadores se realizaron siguiendo el manual de Muñoz et al. (2013b) (Cuadro 2).

La técnica para la medición de respiración edáfica se tomó de Cadena (2016) y se le hicieron algunas modificaciones (Anexo 2).

Cuadro 2. Propiedades de suelos valoradas y técnicas analíticas usadas de acuerdo con Muñoz et al. (2013b)

Indicadores Físicos	Técnica analítica
Color	Tablas de color de Munsell
Textura	Método de Bouyoucos (1963)
Humedad a capacidad de campo y variables derivadas	Método gravimétrico tomado de Ortiz y Ortiz (1980)
Indicadores Biológicos	Técnica analítica
Respiración Edáfica	Modificación a la técnica de Cadena (2016)
Materia orgánica	Método de Walkley-Black (1947)
Indicadores Químicos	Técnica analítica
Nitrógeno total	Método del Micro-Kjeldahl
Fósforo asimilable	Método de Olsen modificado (1965)
Potasio intercambiable	Método del espectrofotómetro de flama
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Método volumétrico del Versenato
Calcio y Magnesio intercambiables	Método de Cheng y Bray (1951) y Cheng y Kurtz (1960)
pH real	Método de Bates, 1954; Willard, Merrit y Dean (1958)

Los resultados obtenidos de los indicadores de suelo se integraron en una base de datos, y se promediaron por grupo, es decir que para cada grupo (PA, PD y CV) se utilizaron 3 réplicas por grupo con las submuestras correspondientes (Cuadro 1).

Finalmente, se utilizaron las imágenes de alta resolución del programa Google Earth v.7 y el programa ArcGIS 10.2, para detallar la cartografía y construir el sistema de información geográfica del proyecto.

6.5. Etapa de análisis de datos

La información obtenida por las encuestas se integró a la base de datos del sistema de información geográfica del proyecto para analizar las estrategias de manejo del suelo.

Para evaluar la fertilidad se modificó el método de Crespo et al. (2006) (Anexo3). La modificación del método se basó en la recopilación y análisis de la información de varios autores (Ferreira, 2015; Santiago, 2007; Sánchez, 2007) que midieron parámetros físicos y químicos del suelo con diferentes fines en el Valle de Tehuacán, Puebla. Con base en lo anterior, y, basado en los criterios del manual de Muñoz et al. (2013b), se realizó un análisis de regresión lineal y logarítmica a cada parámetro. Con ello se obtuvieron las ecuaciones para la normalización de los indicadores físicos, químicos y biológicos (Cuadro 3). Este puede ser utilizado para el municipio de Zapotitlán, e incluso para una zona semiárida con características similares a esta región y en especial para suelos alcalinos.

Cuadro 3. Ecuaciones para la normalización de los indicadores físicos y biológicos. En donde X= valor del indicador medido; Y= valor del indicador normalizado; ln= logaritmo natural.

Indicadores	Ecuación
% de arenas	$Y = -0.0043(X^2) + 0.4375(X) - 2.0969$
% de arcillas	$Y = -0.0033(X^2) + 0.2739(X) + 2.5334$
Porosidad	$Y = 0.1659 (X) - 2.4568$
Capacidad de campo	$Y = 0.1319 (X) + 0.272$
Agua capilar	$Y = 0.1461 (X) + 0.335$
Lámina de agua	$Y = -5.354 \ln(X) + 1747$
Respiración edáfica	$Y = 3.2159 \ln(X) - 4.3512$
% materia orgánica	$Y = 3.2346 \ln(X) + 1.3709$
pH real	$Y = -4.1495 (X) + 40.393$
C.I.C	$Y = 2.9154 \ln(X) - 3.8466$
Calcio intercambiable	$Y = 3.2777 \ln(X) - 4.3271$
Magnesio intercambiable	$Y = 3.9866 \ln(X) + 0.5005$
Nitrógeno total	$Y = 3.0532 \ln(X) + 11.727$
Fósforo asimilable	$Y = 3.1028 \ln(X) - 06265$
Potasio asimilable	$Y = 3.515 \ln(X) - 8.0095$

El IFS promedio de los indicadores se normalizó por grupo, en una escala del 0 al 10, siendo 0 la peor condición y 10 la mejor. La fertilidad se valoró mediante la categorización propuesta por el autor, empleando la clasificación que se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Categorización de IFS propuesta por el autor

Escala	Índice de Fertilidad
9.01 a 10	Muy alto
7.01 a 9	Alto
5.01 a 7	Medio
2.01 a 5	Bajo
0 a 2	Muy bajo

Con el promedio de la normalización de los indicadores del IFS de cada grupo (PA, PD, CV), se elaboró un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para determinar si existen, o no, diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos.

Además, se compararon el IFS de los grupos de CV con PA y PA con PD mediante una tasa de cambio, para representar de manera porcentual el cambio entre los grupos, mediante la siguiente fórmula:

$$Tasa\ de\ cambio: \frac{Vac - Vpas}{Vpas} * 100$$

En donde

Vac = Valor actual

Vpas = Valor pasado

7. RESULTADOS

7.1. Localización del paraje del paraje El Rincón

El paraje El Rincón se encuentra en la zona norte del Ejido de San Antonio Texcala, Puebla, por lo que, para llegar a la zona de trabajo, se tuvo que transportar el equipo en una camioneta 4x4 desde la parte urbana que se encuentra al sur del ejido, pasando terracerías y pasos estrechos con pendientes elevadas, el recorrido duro aproximadamente 80 min. Los ejidatarios mencionan que el paraje se obtuvo en la época de la revolución mexicana por un intercambio de tierras, en el cual el dueño del paraje lo intercambio por minas de ónix (Com. pers. Vicente Pacheco, 2015).

Se integraron dos mapas al sistema de información geográfica de San Antonio Texcala, uno con la ubicación de la zona de estudio y otro con los puntos de muestreo (Figura 3).

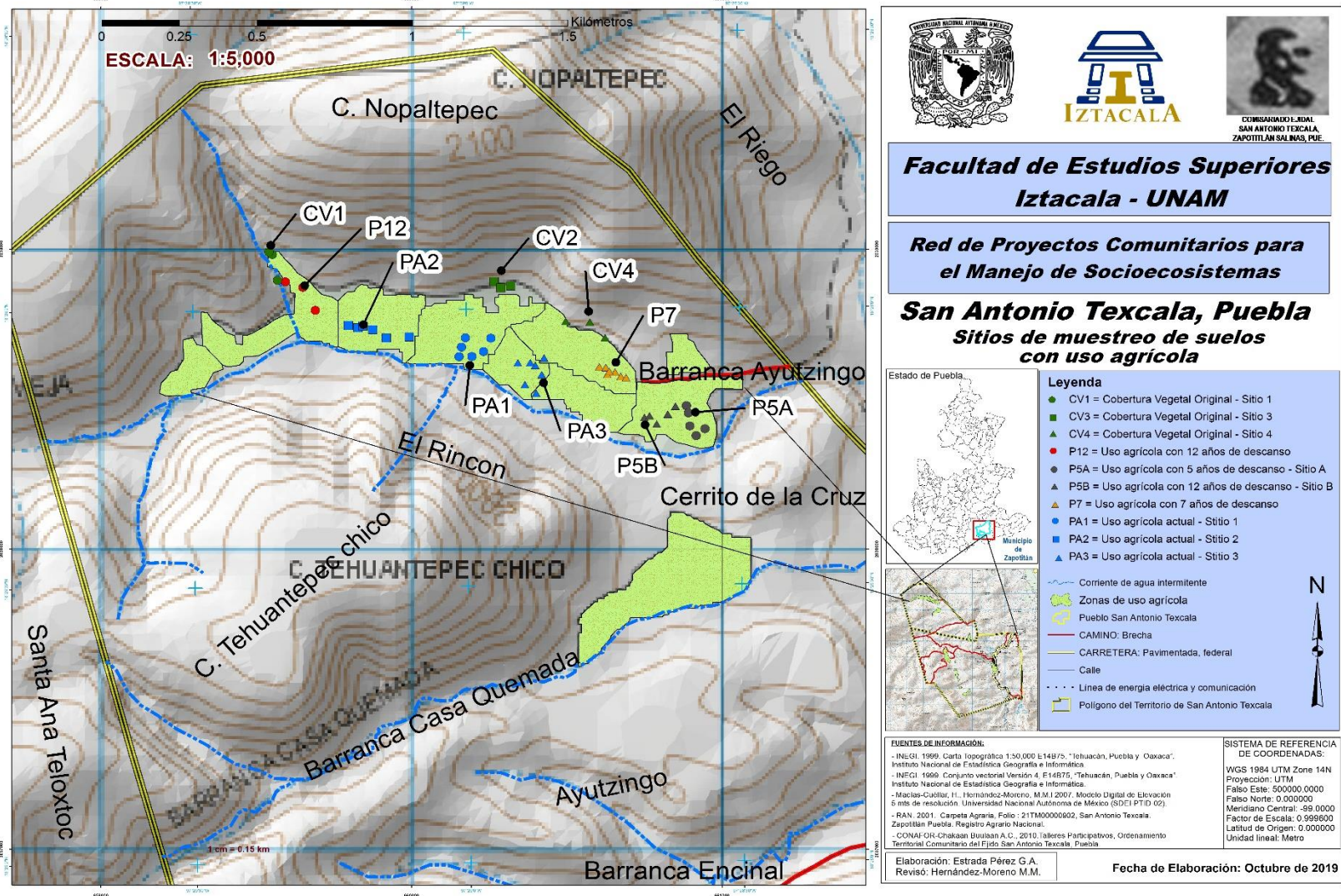


Figura 3. Localización del Paraje El Rincón y de los sitios de muestreo.

7.2. Estrategias de manejo en las parcelas del paraje El Rincón

La aplicación de las encuestas nos mostró que, en general el grupo PA (parcelas actualmente cultivadas) son parcelas de temporal, en donde cultivan maíz y ocasionalmente frijol. Para fertilizar utilizan estiércol de chivo sin composteo previo, protegen el cultivo con cercas de mezquite y barreras de agave para impedir la entrada de animales de pastoreo en especial chivos. Las malezas son controladas de manera manual con una visita quincenal, no han identificado problemas de plagas, las semillas utilizadas para la siembra son de origen local, el manejo de las parcelas es de la forma en que sus padres y abuelos les enseñaron. Los propietarios consideran a sus tierras como “buenas”, las definen como negras, con nutrientes y un poco pegajosas sin llegar a agrietarse, y sus limitantes para cultivar son la falta de disponibilidad de un tractor y el desabasto de agua.

En el caso del grupo PD (Parcelas con descanso de 5 a 7 años) también son de temporal y antes de dejar de utilizarla, sembraban maíz y frijol, abonaban con estiércol de chivo sin composteo previo, protegían sus cultivos con cercas de mezquite y barreras de agave para impedir el paso de animales de pastoreo. El control de malezas era manual, no identificaron problemas con alguna plaga en el cultivo y las semillas eran de origen local. También definen a sus tierras como negras y buenas para el cultivo, siendo las limitantes para cultivar el desabasto de agua, la poca productividad de la parcela, la falta de disponibilidad de un tractor y la lejanía de la zona.

Por último, para el grupo CV (Parcelas con cobertura vegetal original), son parcelas que no se han utilizado y conservan su cobertura vegetal original, aunque son parcelas destinadas al cultivo por el OTC. Los propietarios indican que las limitantes para no utilizar las parcelas son la lejanía del lugar, la falta de pozos de agua y definen a sus tierras como buenas con suelos negros.

7.3. Clase textural y color del suelo

Cuadro 5. Contenido de arenas, arcillas y limos, clase textural y color en seco y húmedo del suelo de las parcelas analizadas.

Grupo	Clave	% arenas	% arcillas	% limos	Clase textural	Color en seco	Color en húmedo
PA	PA1	40.93	37.07	22.00	Franco arcilloso	10 Y/R 4/1 Gris muy oscuro	10 Y/R 2/1 Negro
	PA2	46.27	34.73	19.00	Franco arcillo arenoso	10 Y/R 4/1 Gris muy oscuro	10 Y/R 2/1 Negro
	PA3	48.91	34.80	16.29	Franco arcillo arenoso	10 Y/R 4/1 Gris muy oscuro	10 Y/R 2/1 Negro
PROMEDIO		45.37	35.53	19.10	Franco arcilloso	10 Y/R 4/1 Gris muy oscuro	10 Y/R 2/1 Negro
PD	PD1	51.36	34.80	13.84	Franco arcillo arenoso	10 Y/R 5/1 Gris	10 Y/R 2/1 Negro
	PD2	43.60	39.07	17.33	Franco arcilloso	10 Y/R 5/1 Gris	10 Y/R 2/1 Negro
	PD3	48.69	28.11	23.20	Franco arcillo arenoso	10 Y/R 4/1 Gris muy oscuro	10 Y/R 2/1 Negro
PROMEDIO		47.88	33.99	18.13	Franco arcillo arenoso	////	////
CV	CV1	66.67	24.53	8.80	Franco arcillo arenoso	10 Y/R 4/1 Gris muy oscuro	10 Y/R 2/1 Negro
	CV2	53.20	32.93	13.87	Franco arcillo arenoso	10 Y/R 5/1 Gris	10 Y/R 2/1 Negro
	CV3	53.60	31.47	14.93	Franco arcillo arenoso	11 Y/R 4/1 Gris muy oscuro	11 Y/R 2/1 Negro
PROMEDIO		57.82	29.64	12.53	Franco arcillo arenoso	////	////

7.4. Indicadores físicos, biológicos y químicos

Los resultados muestran que en promedio la porosidad fue media en las parcelas PA y PD, mientras que en CV fue alta (Figura 4). La capacidad de campo fue de 40.54 % para PA, 39.81% para PD y 50.94 % para CV (Figura 5). La lámina de agua registrada fue de 5.05 cm para PA, 4.96 cm para PD y 6.35 cm para CV (Figura 6).

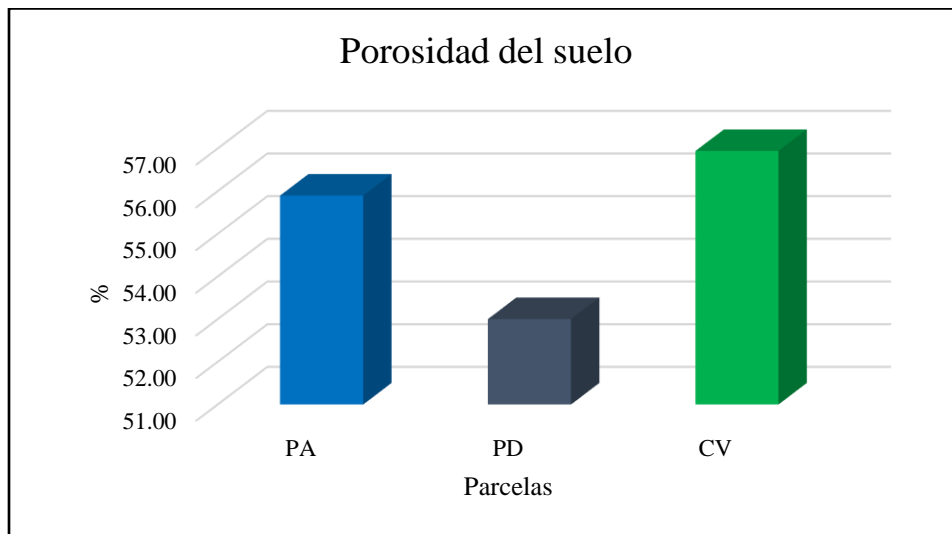


Figura 4. Porcentaje de porosidad del suelo de las parcelas analizadas.

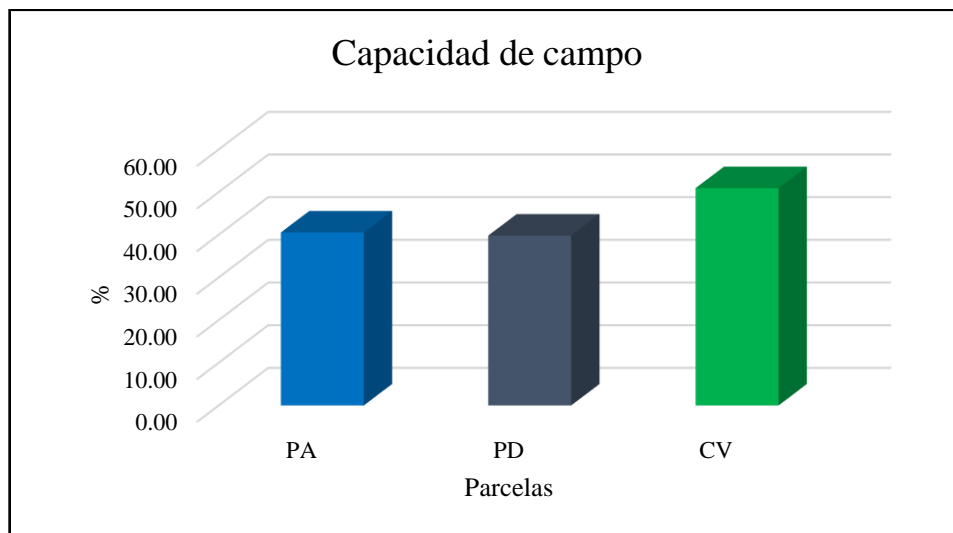


Figura 5. Capacidad de campo del suelo de las parcelas analizadas

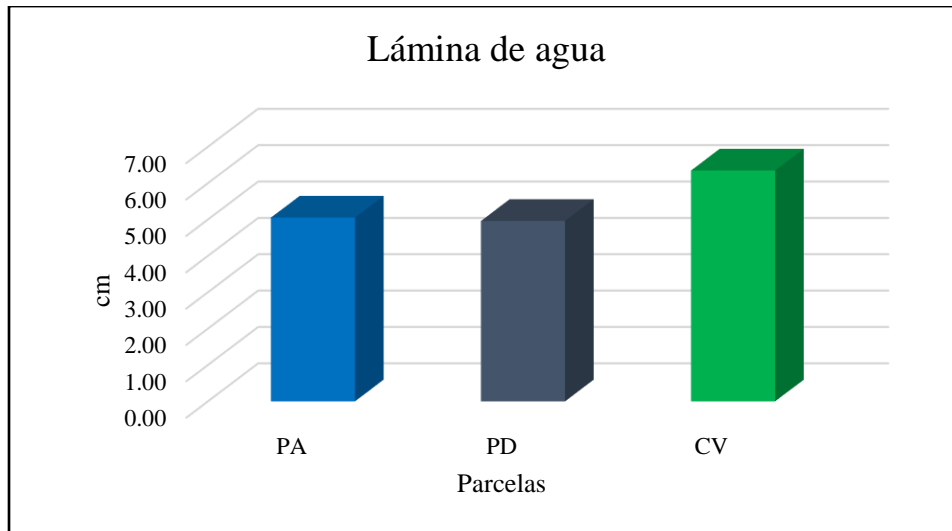


Figura 6. Valores de la lámina de agua que se forma en las parcelas analizadas.

La Figura 7 muestra los valores de respiración edáfica que para PA, PD y CV entran en la categoría de ideal de acuerdo a Cadena (2016). Además, se registró que el porcentaje de materia orgánica para PA y PD es moderadamente rico, mientras que para CV es rico (Figura 8).

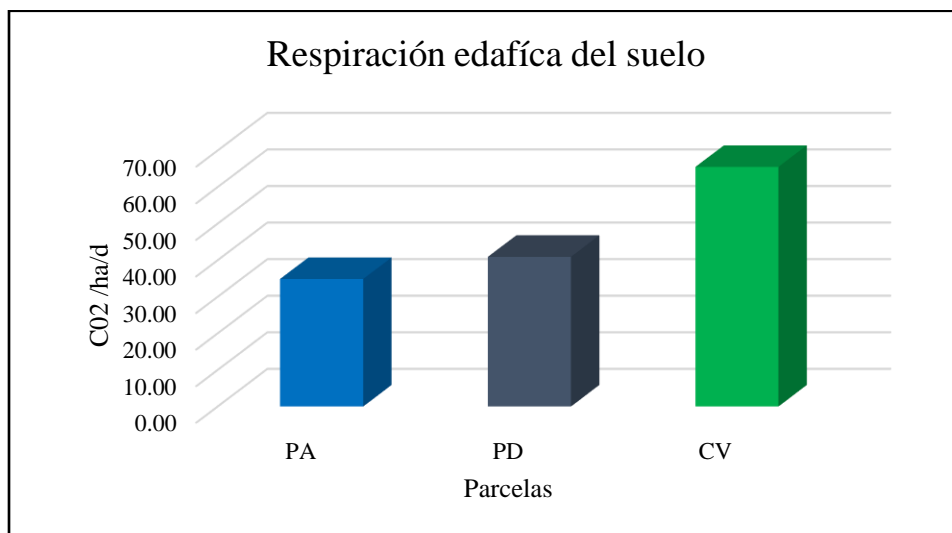


Figura 7. Valores de respiración edáfica de las parcelas analizadas.

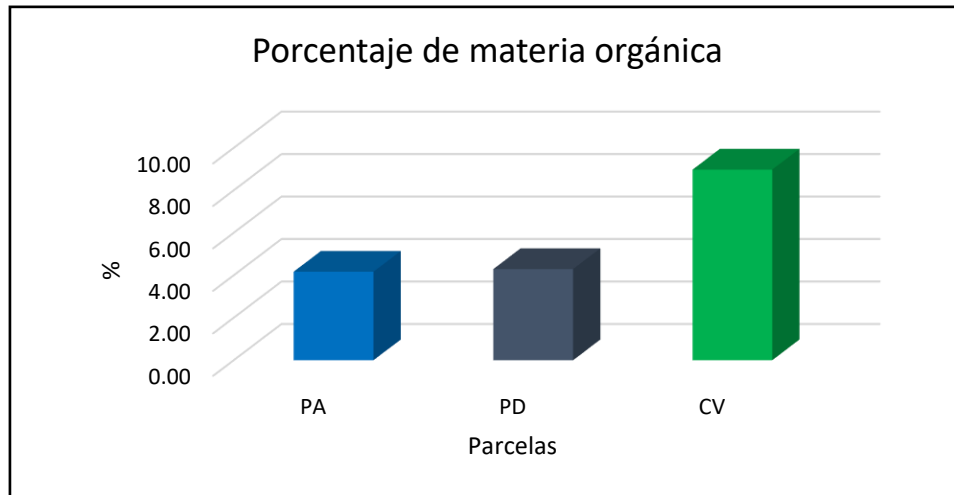


Figura 8. Contenido de materia orgánica del suelo en las parcelas analizadas.

Por otro lado, se encontró que todas las parcelas muestran un pH moderadamente alcalino (Figura 9), mientras que, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en PA y PD son altos, y para CV es muy alto (Figura 10). El contenido de calcio y magnesio en PA, PD y CV es muy alto y alto respectivamente (Figuras 11 y 12).

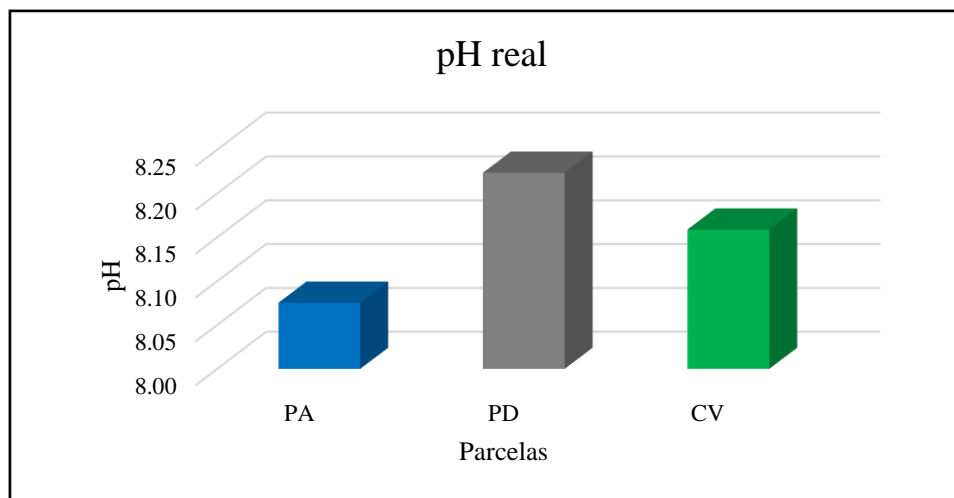


Figura 9. Valores de pH real del suelo en las parcelas analizadas.

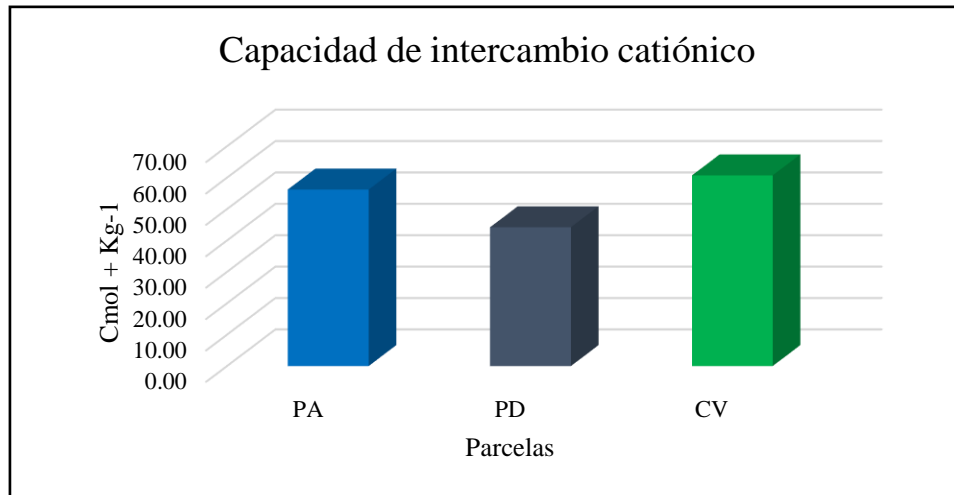


Figura 10. Valores de capacidad de intercambio catiónico del suelo de las parcelas analizadas.

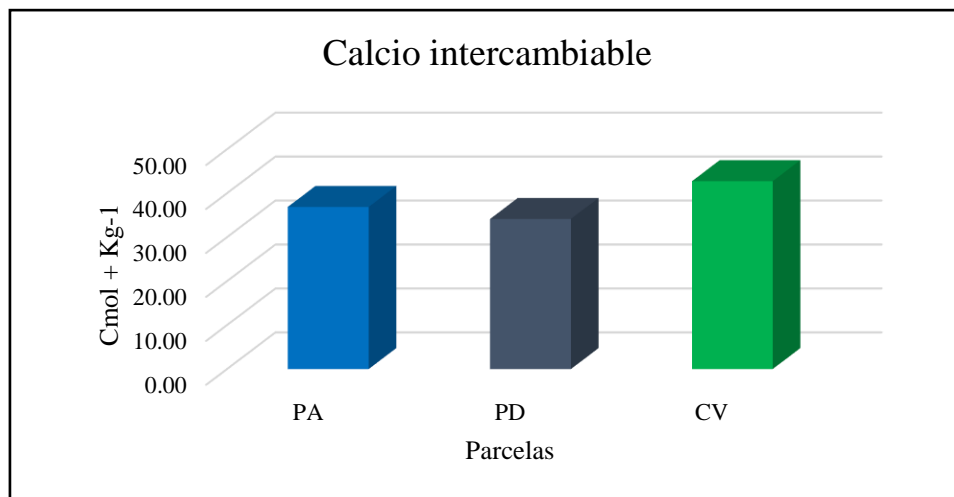


Figura 11. Contenido de calcio intercambiable del suelo de las parcelas analizadas.

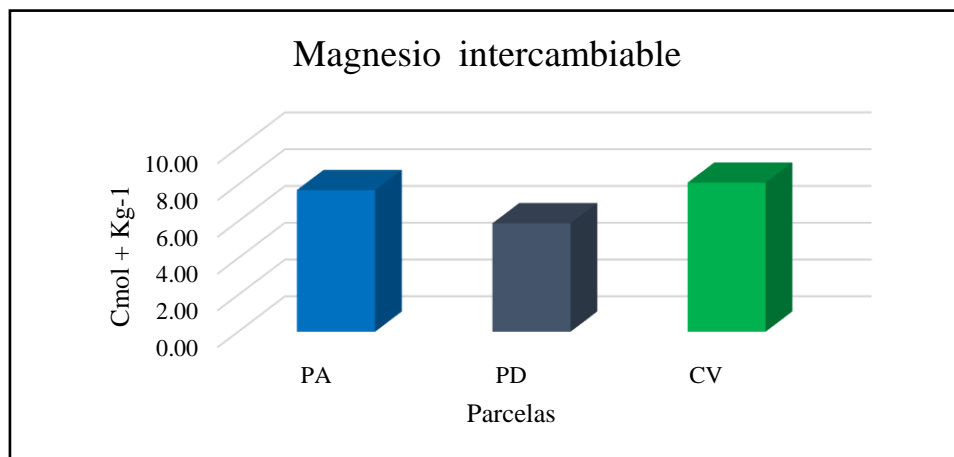


Figura 12. Contenido de magnesio intercambiable del suelo de las parcelas analizadas.

En cuanto a los macronutrientes, el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio para PA y PD resultó moderadamente rico, pobre y bajo, respectivamente, mientras que para CV es rico, medio y medio respectivamente (Figuras 13, 14 y 15). Los cuadros con los datos se encuentran en el Anexo 4.

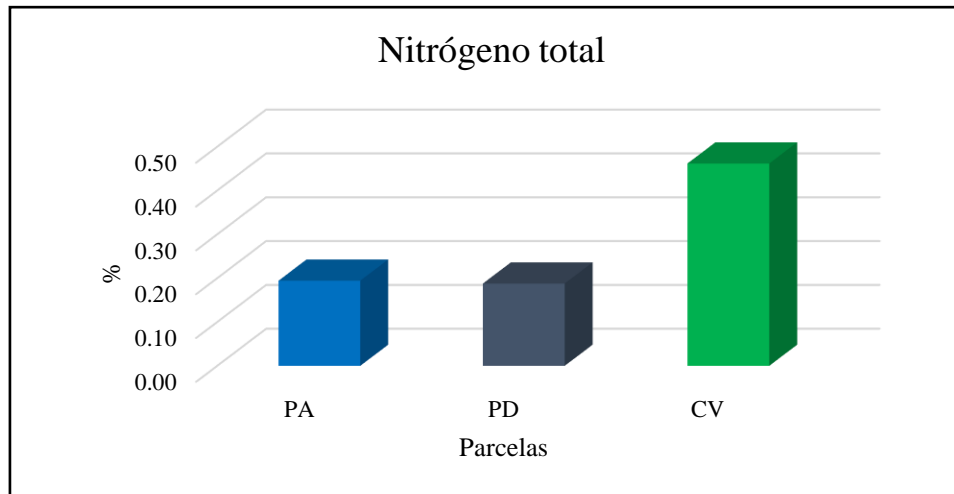


Figura 13. Contenido de nitrógeno total del suelo de las parcelas analizadas.

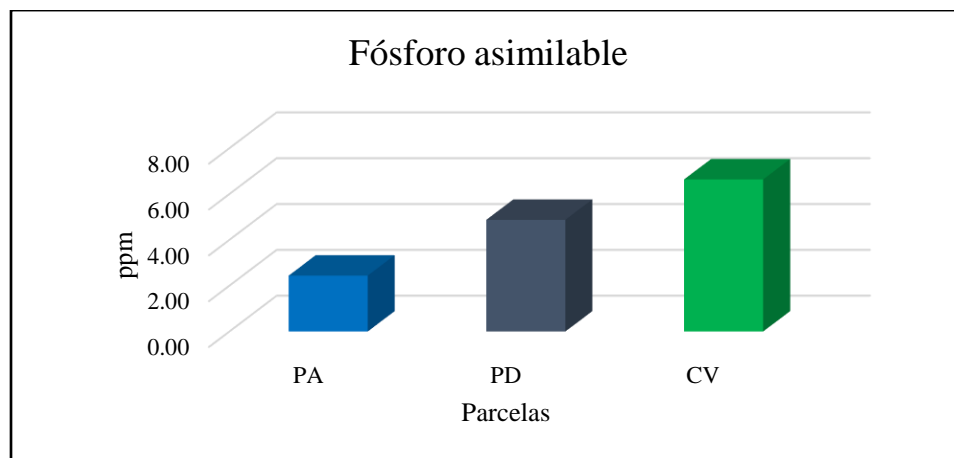


Figura 14. Contenido de fósforo asimilable del suelo de las parcelas analizadas.

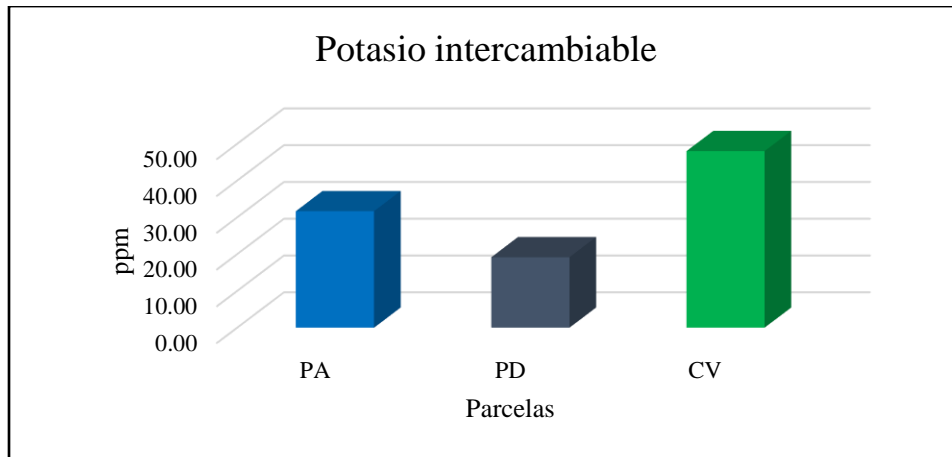


Figura 15. Contenido de potasio intercambiable del suelo en las parcelas analizadas.

7.5. Índice de fertilidad del suelo (IFS)

Se obtuvo IFS para PA y PD medio, mientras que para CV fue alto (Figura 16). Los cuadros de datos se encuentran en el Anexo 4.

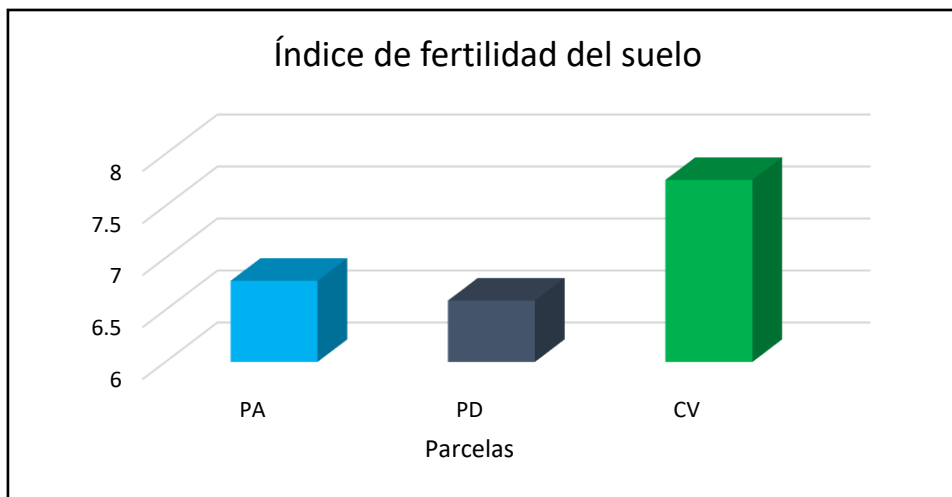


Figura 16. Índice de fertilidad del suelo de las parcelas analizadas.

7.6. Análisis de varianza (ANOVA) de un factor

Como resultado del análisis se obtuvo una F de 1.9193, mientras que el valor crítico para F fue de 3.2380 (Cuadro 6), por lo cual se acepta la hipótesis nula (Ho), es decir, que no existen diferencias significativas entre las medias de los grupos de parcelas analizadas.

Cuadro 6. Análisis ANOVA de un factor.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
	10.770862			1.9193727		3.2380961
Entre grupos	6	2	5.38543132	3	0.16030362	4
Dentro de los grupos	109.42732	4	2.80582882			
	120.19818					
Total	7	41				

7.7. Tasa de Cambio del IFS de las parcelas

En la comparación de las parcelas CV con PA se obtuvo una tasa de cambio de -12.51%, mientras que en la comparación de PA con PD se encontró una tasa de cambio de -2.8 % como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Tasa de cambio de las parcelas CV con PA y PA con PD.

Valor anterior	Tasa de Cambio	Valor actual
7.75	-12.51%	6.78
6.78	-2.8	6.59

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con la información de las entrevistas, los propietarios de las parcelas del paraje El Rincón tienen una percepción integral del estado actual de sus parcelas, ya que mencionan atributos positivos, negativos y de mitigación. Esto indica que la apreciación que los campesinos tienen de los atributos de sus tierras, se asocia cualitativamente con las funciones del suelo y como indicadores ecológicos de sostenibilidad edáfica para la producción agrícola (Galdámez et al. 2007).

Al igual que Galdámez (2007), los propietarios identifican e integran como atributos positivos a los aspectos físicos del suelo como: el color y la clase textural, pues los definen como suelos negros, con nutrientes, un poco pegajosos sin llegar a agrietarse, y concluyen que son suelos con un buen nivel de fertilidad. Al respecto, los propietarios de las tierras agrícolas del paraje El Rincón, concuerdan en que, la capacidad productiva del suelo no solo depende de su fertilidad, sino de la presencia de lluvias, la oportunidad de preparar la tierra, la fecha de siembra y la aplicación de un abono.

Por otro lado, los propietarios de las parcelas identificaron que el desabasto de agua y la ausencia de lluvia en la cosecha, son atributos negativos para la producción agrícola, problemática que fue reportada por Macías-Cuellar et al. (2010) para San Antonio Texcala. La lejanía del lugar y la falta de un tractor para el surcado de la parcela, también son factores de suma importancia para ellos. Por tanto, los propietarios de las parcelas de los grupos PD y CV aseveran que estas problemáticas fueron las que determinaron su decisión para dejar de utilizar las parcelas o nunca utilizarlas.

Adicional a lo anterior, la falta de oportunidades de empleo se podría relacionar con el aumento de la migración a otros sitios del país o a los Estados Unidos de América, lo cual ha llevado al abandono de las tierras (Macías-Cuellar et al., 2010).

Con base en lo anterior, se debe dar mayor atención al manejo de los suelos, en particular a la aireación del suelo y una respuesta al problema del abastecimiento de agua en el paraje El Rincón.

Por su parte, los resultados medio y alto del Índice de Fertilidad del Suelo (IFS) de las parcelas de los grupos PA, PD y CV, respectivamente, se relacionan con la porosidad y la capacidad de campo que son moderados. Esto indica que las plantas tienen un sustrato con una capacidad moderada para retener el agua que necesitan para desarrollarse (Gavande, 1991). Dentro de los indicadores físicos, también la textura es favorable, pues los suelos francos son ligeros, aireados, permeables, con una capacidad de retención de agua media-alta; lo que les da la particularidad de ser fácilmente laborables desde el punto de vista agrícola (Navarro y Navarro, 2014).

Lo anterior, suele formar una estructura del suelo de buena condición, pues esta clase textural favorece la formación de agregados granulares, que es la condición deseable para la producción agrícola, dado que incrementa el espacio poroso (Plaster, 2005). Además, el porcentaje de arenas, muestra que el flujo del agua es adecuado, facilitando la emergencia de las plántulas, ya que el agua no se estanca, evitando el proceso de sellamiento, que lleva a la destrucción de la estructura de la superficie (Porta et al., 2008).

Otra cualidad del suelo de estas parcelas es que la lámina de agua que se forma es muy favorable, pues la distancia teórica para asegurar que la planta obtenga agua para su crecimiento es baja en comparación con otras zonas semiáridas, ya que como reportan López et al. (2004), el nivel crítico mínimo del contenido de agua en el suelo para decidir sembrar maíz, es de 8.34 cm.

En relación con los indicadores biológicos, la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) es de moderada a rica, lo que indica que el suelo tiene la capacidad para moderar su temperatura, estabilizar su estructura, aumentar la capacidad de intercambio catiónico y dar soporte a plantas y microorganismos (Navarro y Navarro, 2014; Porta et al., 2008; Plaster,

2005). Además, de acuerdo con lo planteado por Cadena (2016), la cantidad MOS es óptima para el desarrollo de los microorganismos, considerando que es un indicador biológico de amplia relevancia, pues dichos microorganismos asociados a la MOS, tienen la función de hacer disponibles los macro y micro nutrientes (Navarro y Navarro, 2014).

En cuanto a los indicadores químicos el pH es moderadamente alcalino y afecta a la disponibilidad de macronutrientes esenciales, como el Fósforo y el Potasio (Navarro y Navarro, 2003), mientras que la capacidad de intercambio catiónico, es decir, los espacios que tiene el suelo para que los nutrientes estén disponibles, es muy alta; y dado que el contenido de materia orgánica es moderadamente rico, podría suponerse que hay una gran cantidad de minerales disponibles para la nutrición vegetal (Navarro y Navarro 2003; Navarro y Navarro, 2014).

Dado que el suelo es de origen calcáreo, la mayoría de los minerales son productos de calcio y magnesio y podrían provenir de minerales como la biotita, la hornblenda, o la dolomita (Universidad de Caldas, 2011), lo cual representa que no habrá retrasos en el crecimiento de la planta del maíz o síntomas por falta de magnesio, tales como, tallos delgados y largos, y mazorcas pequeñas con granos también pequeños (Sharma y Kumar, 2011).

Además, el calcio ayuda a que se dé un buen crecimiento de la raíz y del tallo, y permite que la planta tome fácilmente los nutrientes disponibles. También ayuda a reducir la cantidad de nitratos en las plantas, a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta, contribuye a la fijación del Nitrógeno al ser requerido por las bacterias fijadoras, y otorga turgencia a las plantas, haciéndolas más eficientes en el uso de agua y reduciendo las pérdidas por evapotranspiración (Universidad de Caldas, 2011).

Finalmente, estos suelos son de moderadamente ricos a ricos en nitrógeno, lo cual se asegura que el contenido de proteína del tejido de la planta estará a pleno rendimiento, y que el uso del agua será óptimo (Plaster, 2005). Sin embargo, son bajos en fósforo y potasio, lo que provoca ciertos rasgos en las plantas de maíz relacionados con estas deficiencias como, el achaparramiento de la planta, tallos largos y delgados, madurez tardía y bajo rendimiento de

grano, principalmente relacionado con la deficiencia de fósforo. Además, el bajo contenido de potasio, provocará que las mazorcas sean pequeñas, comúnmente puntiagudas y subdesarrolladas en la punta (Sharma y Kumar, 2011). Lo anterior indica una baja fertilidad del suelo, que, de acuerdo con Navarro y Navarro (2014), puede provocar severas deficiencias en el desarrollo de los cultivos.

Bajo este contexto, y, dado que, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de las parcelas de los grupos PA, PD y CV, autores como Navarro y Navarro (2003), Navarro y Navarro (2014), Porta et al. (2008) y Plaster (2005), estiman que para que los cambios en las propiedades de los suelos sean sensibles a las mediciones, el suelo debe pasar por un largo periodo de tiempo bajo diferentes, o, bajo alguna condición ambiental, es decir, que no siempre se pueden medir los cambios causados en el suelo por agentes ambientales.

Esto también nos muestra que, aunque la fertilidad de los suelos de PA y PD es media y para CV es alta, los suelos son poco productivos, debido a las condiciones físicas, químicas y biológicas que presentan (Navarro y Navarro 2003; Navarro y Navarro, 2014). Es decir, un suelo fértil, que tenga las condiciones físicas y químicas necesarias para ser considerado como tal, puede no ser productivo; en este caso la falta de agua, es un problema fundamental que limita el éxito en la productividad del suelo. Sin embargo, si se corrige esa situación, la productividad de ese suelo fértil aumentaría considerablemente y se obtendría un mayor rendimiento de las cosechas (Navarro y Navarro, 2014).

No obstante, lo anterior, la fertilidad del suelo de las parcelas de El Rincón se considera adecuadas para la producción de maíz de temporal en la zona, pero no para un uso intensivo. Las principales limitaciones identificadas son la disponibilidad de fósforo, potasio y de agua; por lo que, si se implementan prácticas para la cosecha de agua de lluvia, se aseguraría un aumento en el rendimiento de las cosechas.

Como se mencionó antes, la baja disponibilidad del agua representa una limitante en la productividad del suelo (Navarro y Navarro 2003; Navarro y Navarro, 2014; Porta et al., 2008; Plaster, 2005); en ese sentido, Urióstegui (2017) recomiendan la construcción de jagüeyes que cubriría las necesidades básicas de captación de agua de las parcelas agrícolas de San Antonio Texcala.

De acuerdo con Urióstegui (2017), este tipo de sistemas son eficientes, además de ser sencillos y económicos para su construcción en estas zonas. Sin embargo, es importante tener diferentes puntos de vista del personal técnico que asesore la obra para elegir el sistema adecuado. Debido a la forma que tiene el terreno en las áreas de La Mesa, Llano Grande y El Rincón, Urióstegui (2017) proponen integrar un conjunto de acequias que puedan direccionar el agua hacia las zonas con vegetación. Específicamente para el Paraje El Rincón sugieren sitios potenciales para la captación del agua de lluvia, utilizando este sistema, pues estima que con 1 m² los jagüeyes capturan 10 L de agua, con 10 mm de precipitación pluvial.

Adicional a lo anterior, es necesario implementar medidas de conservación de suelo que acompañen a las actividades de manejo agrícola, como la aplicación de bio-fertilizantes, pues de acuerdo con Ruiz (2015), el uso de abonos orgánicos aumenta la fertilidad al aportar micro y macro nutrientes esenciales y materia orgánica, favoreciendo la formación de material prehumificado fácilmente asimilable; y con ello, una gran carga bacteriana benéfica, con lo que además se mejoraría la capacidad de retención de la humedad, la porosidad, la infiltración, la estabilidad de agregados, la CIC, y se regularía el pH.

Por último, la tasa de cambio permitió comparar los diferentes grupos y tener una visión más amplia de la forma en que cambian los indicadores de la fertilidad en el tiempo. Así, podemos ver que hay una disminución de la fertilidad en un 12.5 % entre el grupo PA y CV, es decir, el uso agrícola promueve una disminución en la fertilidad natural¹ del suelo. Esto concuerda

¹ Se registra en los suelos vírgenes o cultivados de forma extensiva, donde hay un equilibrio entre el suelo y la cobertura vegetal.

con lo reportado por Santiago (2007) y Ferreira (2015) quienes también encontraron una disminución en la fertilidad después del uso agrícola en coberturas vegetales originales. Y, aunque el suelo de PA está en constante fertilización (fertilidad adquirida²), esta no es lo suficientemente eficaz para llegar a los niveles de la fertilidad natural (CV). Los indicadores que muestran la disminución de la fertilidad fueron la capacidad de campo (indicador físico), el contenido de materia orgánica y la respiración edáfica (indicadores biológicos) y el contenido de macronutrientes, nitrógeno, fósforo y potasio (indicadores químicos).

La disminución de los valores de los indicadores físicos se debe a una mala aireación en la preparación del suelo y por ende a su compactación (Porta et al., 2008). Por ello, se observa un aumento en la lámina de agua, que implica que se necesitaría más agua para asegurar el cultivo. Sin embargo, según lo reportado por López y Guerrero (1999) el promedio de este parámetro va de 6.5 a 8.3 cm, por lo cual no genera un cambio sensible en este indicador. Esta problemática fue identificada por los propietarios de las parcelas que dejaron de utilizar las parcelas, al mencionar que no tienen acceso a tractores y les es difícil barbechar y surcar las parcelas.

Adicional a lo anterior, los indicadores biológicos muestran que no es eficaz la forma en que fertilizan su suelo, puesto que utilizan solo estiércol de chivo sin un previo pre-composteo, por lo que, la poca degradación de la materia orgánica provoca una menor concentración de nutrientes y de organismos edáficos que favorecen la disponibilidad de los nutrientes (Navarro y Navarro, 2014). En ese sentido, la disminución de los valores de los indicadores químicos es el efecto causado por cultivar predominantemente maíz, y no tener una forma adecuada de fertilización que reponga estos nutrientes de manera eficaz (Porta et al., 2008; Navarro y Navarro, 2014; Plaster, 2005).

Finalmente, en la comparación entre PA y PD, la fertilidad de PD disminuyó un 2.8%, estos resultados indican que PA tiene una fertilidad adquirida y PD pasó a tener una fertilidad actual; es decir, la fertilidad que tiene el suelo en un momento determinado, que se manifiesta

² Es la que se tiene en un suelo sometido a un cultivo.

como la capacidad de absorción de nutrientes por la planta, y que depende del tipo de suelo y de planta, en cada caso (Navarro y Navarro, 2014).

Los indicadores que destacan en esta comparación son la disminución de la capacidad de campo, la porosidad, y el contenido de calcio y magnesio intercambiables en PD. Esto podría deberse a la calidad de la materia orgánica que el suelo acumula de manera natural, pues depende de ello para obtener nutrientes y estabilizar la estructura del suelo (Plaster, 2005).

Con base en estos resultados se determina que el indicador que más se relaciona con la fertilidad de los suelos es la materia orgánica, concordando con lo mencionado por Muñoz et al. (2013a), quienes concluyen que la degradación física y biológica del suelo es consecuencia de la reducción en el contenido de materia orgánica.

9. CONCLUSIONES

No obstante que estadísticamente las parcelas actualmente cultivadas, con descanso y con vegetación original no muestran diferencias significativas entre las medias de sus propiedades, es decir, no hay un cambio considerable entre estos suelos, el análisis de la tasa de cambio mostró que la fertilidad de los terrenos con vegetación original disminuyó al ser utilizados con fines agrícolas, mientras que el tiempo de descanso de las parcelas utilizadas no fue suficiente para evidenciar una recuperación de la fertilidad.

El indicador más importante de la fertilidad del suelo, por su relación con los demás, es el contenido de materia orgánica, pues influye en el incremento de la estabilidad del suelo en la disponibilidad de nutrientes, el soporte de las plantas y la amortiguación del pH. Por lo tanto, la disminución de la materia orgánica en el suelo disminuye la fertilidad del suelo.

Se encontró un bajo contenido de fósforo asimilable y potasio intercambiable, ambos macronutrientes esenciales, lo cual puede generar achaparramiento de la planta, tallos largos y delgados, madurez tardía, bajo rendimiento de grano, acortamiento de los entrenudos del tallo, y una pérdida generalizada del color verde oscuro saludable del follaje.

Aunque el suelo de las parcelas estudiadas del paraje El Rincón se puede considerar fértil, es poco productivo, teniendo limitaciones como el contenido de fósforo disponible, de potasio intercambiable, y en mayor medida de abastecimiento de agua. Por ello se sugiere que se implemente un proyecto para la captación del agua, lo que aseguraría un aumento en el rendimiento de las cosechas.

Además, se sugiere implementar medidas de conservación de suelo que acompañen a las actividades de manejo cuando está activo para la producción agrícola, como la aplicación de materia orgánica en forma de biofertilizante, con la finalidad de no empobrecerlo en su

totalidad; lo que permitiría, además, disminuir el tiempo de recuperación de la fertilidad del suelo.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Buold, S. W., Holde, F. D., McCracken, R. J. 1981. Génesis y clasificación de suelos. Ed. Trillas. México
- Cadena, L. J. G. 2016. Estudio comparativo de la respiración edáfica en suelos del Alto Mezquital, Ixmiquilpan, Hidalgo. Tesis de licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México
- Cairo, P. O. y Fundora. 1994. Edafología. Ed. Pueblo y Educación. México.
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C. y Zárate, S. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 61, 31–47. doi:10.17129/botsoci.1537
- Crespo, G., Rodríguez, I., Otero, L., Calero, B. y Fraga, M. 2006. Metodología para la evaluación integral del estado de fertilidad de los suelos en una región ganadera de La Habana. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(4):495-502.
- DOF. 2000. PROY-NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial de la Federación. México.
- Doran J.W. y Parkin T. B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Etchevers B. J. D. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Terra Latinoamericana 17(3). 209-219. Chapingo, México
- FAR, PPIC, PPI. 1998. Manual de Fertilidad de los Suelos. Foundation for Agronomic Research (FAR), Potash&Phosphate Institute (PPI), Potash&Phosphate Institute of Canada (PPIC). Georgia.
- Ferreira R. M. 2015. Evaluación del nivel de degradación química y biológica del suelo, en dos terrazas aluviales en una zona semiárida. Tesis de licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México
- Galdámez G.J, Aguilar J.C.E., Gutiérrez M.A., Mendoza P.S., Martínez A.F.B. 2007. Manejo sostenible de suelos en la producción agrícola de la depresión central de Chiapas, México. I Seminario de Cooperación y Desarrollo en espacios rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e Indicadores, Almería.
- Gavande S.A. 1991. Física de suelos, principios y aplicaciones. LUMISA. GRUPO NORIEGA EDITORES. Octava reimpresión. México D.F
- Hernández-Moreno, M. M., Téllez-Valdés, O., Martínez-Meyer, E., Islas-Saldaña, L. A., Salazar-Rojas. V. M. y Macías-Cuéllar, H. 2021. Distribución de la cobertura vegetal y del uso del terreno del municipio de Zapotitlán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923649. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3649>
- Hernández-Moreno, M. M. 2006. Evaluación del proceso de degradación del suelo mediante modelos con indicadores edáficos, topográficos y climáticos en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, UNAM, México.
- INEGI. 2013. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1:250 000 Serie II (Continuo Nacional). INEGI. México.

- López M. J. D, Salazar S. E, Vázquez V. C, Figueroa V.R, Berumen P.S, Martínez R. E. 2004. Nivel crítico del agua en el suelo para decidir la siembra en agricultura de zonas áridas. Revista Internacional de Botánica Experimental. Fundación Rómulo Raggio. 53 Aniversario. Pag.281-287. Argentina.
- López, G.F., Muñoz, I.D., Hernández, M.M., Soler, A.A., Castillo, L.C., Hernández, A.I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. LVI-1:19-41.
- López, M. J. D. y Guerreo, A. J. 1999. Contenido de humedad del suelo para decidir la siembra en agricultura de zonas áridas. *Terra Latinoamericana*.,17(1):51-57.
- Macías-Cuéllar H., De la Puente M. de C. M., Hernández-Moreno M., Rosas-López R., Sánchez-Paredes L. 2010. Estudio para el ordenamiento territorial comunitario del ejido San Antonio Texcala, Puebla. Informe final. Chakaan Buulaan, A.C. México.
- Muñoz I. D. J, Ferreira R. M, Escalante A. I. B, López G. J. 2013a. Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. 31(3):201-210.
- Muñoz, I.D.J., Mendoza C, A., López G.F. Soler A.A., Hernández M, M.M. 2013b. Manual de análisis de suelo. Edafología. FES Iztacala. UNAM
- Navarrete S.A., Vela C.G., López B.J, Rodríguez G.M.L. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* 80, 29–37. México.
- Navarro G.G. y Navarro, S.B. 2014. Fertilizantes química y acción. Ed. Mundi-Prensa. España
- Navarro S.B. y Navarro, G.G. 2003. Química agrícola el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Pérez-Juárez, H., Serrano-Vázquez, A., Kosakyan, A., Mitchell, E.A.D., Rivera-Aguilar, V.M., Lahr, D.J.G., Hernández-Moreno, M.M., Macías-Cuéllar, H., Eguiarte, L.E., Lara, E. 2017. *Quadrullella texcalense* sp. nov. from a Mexican desert: An unexpected new environment for hyalospheniid testate amoebae. *European Journal of Protistology*. *Eur. J. Protistol.*, 61:253-264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejop.2017.06.008>
- Plaster E. J. 2005. La ciencia del suelo y su manejo. International Thomson Editores Spain Parinfo, S.A. Segunda reimpresión. Madrid España
- Porta C. J, López-Acevedo. R. M, Poch. C. R. M. 2008. Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid
- Ruiz, F. J. F. 2015. Conservación y rehabilitación de tierras degradadas. Una visión holística parte I. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Sánchez, C. R. C. 2007. Análisis comparativo de la calidad de suelos agrícolas y suelos protegidos por vegetación natural en una zona semiárida. Tesis de licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México
- Santiago M, E. O. 2007. Fertilidad de los suelos agrícolas de las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México
- Sharma, K. M. y Kumar, P. 2011. Guía para la identificación y el manejo de la deficiencia de nutrientes en cereales. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, México

- Torres-García, I., Rendón-Sandoval, F. J., Blancas, J., Casas, A. y Moreno-Calles, A. I. (2019). El género *Agave* en los sistemas agroforestales de México. *Botanical Sciences*, 3, 263-290. <https://doi.org/10.17129/botsci.2202>
- Universidad de Caldas. 2011. Edafología 1. Universidad Mayor de San Andrés, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Universidad de Valladolid, Universidad en el Campo. Espacio grafico comunicaciones S.A. Colombia.
- Uriostegui, M. A. E. 2017. Sistemas de captación de agua de lluvia para el ejido San Antonio Texcala, Puebla. Informe de Servicio Social del Programa Manejo Comunitario de Socioecosistemas con clave de registro 2016-12/63-855. Asesora: Mtra. Mayra Mónica Hernández Moreno. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.
- USDA. 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos. EEUU.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Arizmendi, M.C., Villaseñor, J.L., Ortega, R.J. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bol. Soc. Bot. México*, 67:24-74.
- Valiente-Banuet, A., Solis, L., Dávila, P., Arizmendi, M.C., Silva, P.C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, C.J., Rangel-Landa, S. Casas, A., 2009. *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. UNAM, CONABIO, INAH, UAT Fundación para la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán. México.

11. RECOMENDACIONES.

Los suelos agrícolas del paraje El Rincón del ejido San Antonio Texcala, se consideran adecuados para la producción de maíz de temporal, aunque la productividad es baja y a veces el cultivo no prospera debido a la sequía prolongada (Com. pers. Guillermo Olivares, 2016). Dado que es un cultivo de subsistencia, que se ha venido utilizando por muchas generaciones en la región (Hernández-Moreno et al., 2021), que es centro de domesticación del maíz (Casas et al., 1997), los productores de esta zona tienen experiencia con él y conocen su manejo y problemáticas, por lo que no se recomienda sustituirlo por ninguno otro.

Bajo este contexto es fundamental realizar el monitoreo de la fertilidad del suelo agrícola de El Rincón, valorando la productividad y su pérdida o disminución a lo largo del tiempo. Las principales limitaciones identificadas fueron la disponibilidad de fósforo, potasio y agua; por lo que, si se implementan prácticas para la cosecha de agua de lluvia, se aseguraría un aumento en el rendimiento de las cosechas.

Asociado a lo anterior, es necesario implementar medidas de mejoramiento de la fertilidad del suelo que acompañen a las actividades de manejo agrícola, como la implementación de caldos nutritivos basados en el aprovechamiento de materia orgánica y uso de aminoácidos (Anexo 5), que son utilizados en agricultura orgánica (Ruiz, 2015) y modificados por el autor, para disminuir su costo y para que su aplicación y traslado sea sencillo.

Adicional a lo anterior, es recomendable la implementación de estrategias de conservación de suelo, como la integración de cultivos acompañantes como el frijol y la calabaza. Esta es una práctica en la que se siembran diversos cultivos en un mismo campo (Ruiz, 2015). Existen varias combinaciones espaciales: i) con diferentes cultivos sembrados en una misma fila, ii) sin arreglo espacial, o iii) con surcos intercalados. Esto genera beneficios tales como: la reducción de poblaciones de insectos plaga, la supresión de malezas, el aumento de microorganismos benéficos para la fertilidad de los suelos y el control de la humedad de los suelos (Ruiz, 2015).

Así mismo, se recomienda el establecimiento de sistemas agroforestales, utilizando especies de importancia para la región, como los agaves para la producción de pulque y mezcal (*A potatorum*, *A marmorata*). El manejo de esta vegetación protege el suelo agrícola de la erosión, durante un tiempo considerable, debido a su ciclo vegetal y tiene un beneficio económico para el productor debido a su utilidad (Torres-García et al., 2019).

ANEXO 1

Registro de parcelas y productores.

Parcela No: _____ Localidad: _____ Fecha: _____

Nombre del propietario: _____

Uso y tiempo de uso de la parcela	
¿Desde cuándo es propietario de la parcela?	
¿Cuánto tiempo tiene su parcela produciendo?	
Usted, ¿Cuánto tiempo tiene produciendo?	
¿Cuántos ciclos produce en el año?	
Suelo	
¿De qué color es el suelo de su parcela?	
¿Cuál sería el color deseable para su cultivo?	
¿De qué tipo es la textura del suelo en su parcela? (chiclosa, duro, arenosa, pedregosa)	
¿Cuál sería el tipo de textura deseable en su parcela?	
¿Qué problema ha identificado en el suelo de su parcela?	
¿Ha tratado de mejorar el suelo de su parcela?	
¿Cómo?	
¿Quién le recomendó hacerlo o como conoció ese tratamiento?	
Cultivo	
¿Qué cultivo tiene actualmente y/o que cultivos ha sembrado?	
¿Cómo prepara la parcela antes de sembrar el cultivo?	
Después de sembrar su cultivo, ¿Cómo lo protege en el transcurso del ciclo?	
¿Cuál es su proceso en la cosecha? (Usa ayudantes, cosechadora, secciona)	
Fertilización de la parcela	
¿Qué tipo de fertilizante usa?	
¿Cuándo y cuánto aplica?	
¿Usa plaguicidas?	
¿Cuál y por qué?	
Semilla	
¿Usa siembra directa o plántula?	
¿En dónde la consigue?	
Producción	
¿Qué problemática ha tenido al producir en su parcela? (económico, social, biofísico)	
¿Cuánto produce por ciclo?	
¿Lo producido es para venta local, regional o para autoconsumo?	
¿Recibe algún estímulo en la producción? (estatal, federal, regional)	
¿Cuál?	

ANEXO 2

Proceso analítico para la evaluación de la respiración edáfica

Reactivos y materiales

Muestra de suelo seco y cernido con malla del número 10, la cantidad dependerá de la cantidad de materia orgánica (Cuadro1)

Hidróxido de sodio 0.1 N

Cloruro de bario 1N

Ácido clorhídrico 0.1 N

Fenolftaleína 1%

Agua destilada

Jeringa de 5mL

Frasco ámbar de 120 mL con tapa de goma (Figura 1)

Bureta de 100 mL

Vasos de precipitado 100 mL

Cuadro 1. Cantidad de suelo en relación a la materia orgánica.

% de materia orgánica	Cantidad de suelo (gramos)
0.1 – 2.0	100
2.01 – 6.0	75
6.01 – 10.0	50



Figura 1. Muestra del dispositivo para medir la respiración edáfica

Procedimiento.

1. Agregar la muestra de suelo al frasco ámbar, y agregar agua hasta llevar la muestra a capacidad de campo.
2. Tapar, sellar el frasco y almacenarlo por 24 horas en un lugar seco y oscuro. Para preparar el blanco se tapa y sella un frasco sin suelo en el mismo momento de la preparación.
3. En un vaso de precipitado agregar 25 mL de hidróxido de sodio 0.1 N y con la jeringa de 5mL extraer gas del frasco previamente almacenado, agregar este gas en el hidróxido de sodio de manera suave sin crear demasiadas burbujas de gas.
4. A la solución anterior se le agrega 1 mL de cloruro de bario 1N y 3 gotas de fenolftaleína.
5. Hacer lo mismo para el blanco.
6. Titular la solución con ácido clorhídrico 0.1N y registrar los resultados.

Procesamiento de resultados.

$$mgCO_2 = (b - v)nz$$

En donde:

B= Volumen consumido del ácido clorhídrico (blanco).

V= Volumen consumido del ácido clorhídrico (muestra)

N= Normalidad del ácido clorhídrico (0.1 N)

Z= Peso equivalente del dióxido de carbono

$$R = \left(\frac{mgCO_2}{A} \right) * 1m^2$$

En donde:

R= Miligramos de CO₂ generados por un metro cuadrado de suelo.

A= Área a testar de la cámara sellada = $D^2 * \left(\frac{\pi}{4}\right)$

D= Diámetro de la cámara.

$$I.R.E. \text{ } mgCO_2/m^2/h = R/T$$

En donde:

I.R.E.= Índice de respiración edáfica en miligramos de CO₂ por metro cuadrado por hora.

T= Horas de almacenamiento.

$$I.R.E. \text{ } mgCO_2/ha/d = (mgCO_2 / (A*T)) * 2400$$

En donde:

I.R.E.= Conversión a kilogramos de CO₂ por hectárea por día.

2400= Factor de conversión de unidades.

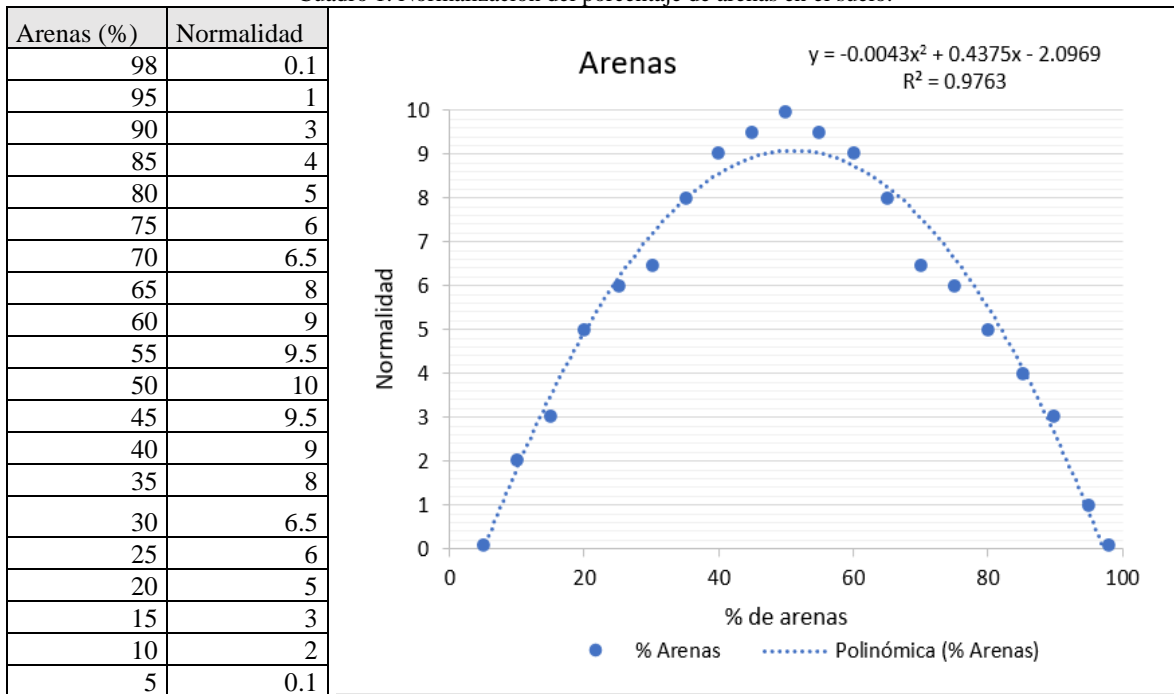
ANEXO 3.

Modificación del método de Crespo *et al.* (2006)

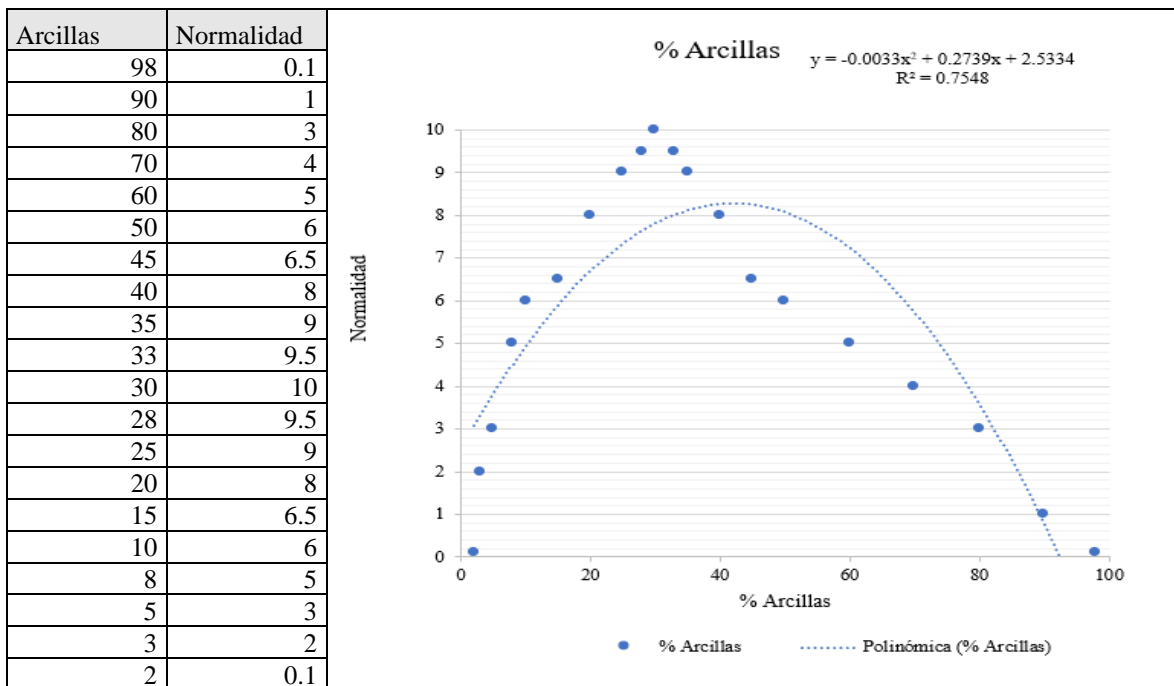
El suelo es un cuerpo natural, producto de la acción combinada de los procesos de formación (meteorización, intemperismo, erosión) sobre el material parental o roca madre, mediante los cuales ocurren los diferentes procesos que le dan origen (Cairo y Fundora, 1994). Es el resultado de la interacción de cinco factores formadores: clima, organismos, relieve, litología y tiempo (Bould *et al.*, 1981). Independientemente de su origen, provee tres servicios ecosistémicos primordiales: de soporte, de regulación y de provisión. En este contexto un suelo fértil es aquél que tiene la capacidad de abastecer los nutrientes suficientes al cultivo, asegurando el crecimiento y desarrollo de la planta, con la capacidad para producir cosechas sanas y abundantes, o sostener una vegetación en condiciones cercanas a las óptimas (Etchevers, 2000).

Para evaluar la fertilidad se modificó el método de Crespo *et al.* (2006), esto es llevar de una escala con valores bajo (1), medio (5) y alto (10), a una escala numérica de 0.1 a 10, la modificación del método se basó en la recopilación y análisis de la información de varios autores (Ferreira, 2015; Santiago, 2007; Sánchez, 2007), que midieron parámetros físicos y químicos del suelo con diferentes fines en el Valle de Tehuacán, Puebla. Con base en lo anterior, y en los criterios del manual de Muñoz *et al.* (2013b), se realizó un análisis de regresión lineal y logarítmica a cada parámetro. Con ello se obtuvieron las ecuaciones para la normalización de los indicadores físicos, químicos y biológicos, como se puede apreciar en los Cuadros 1 a 16.

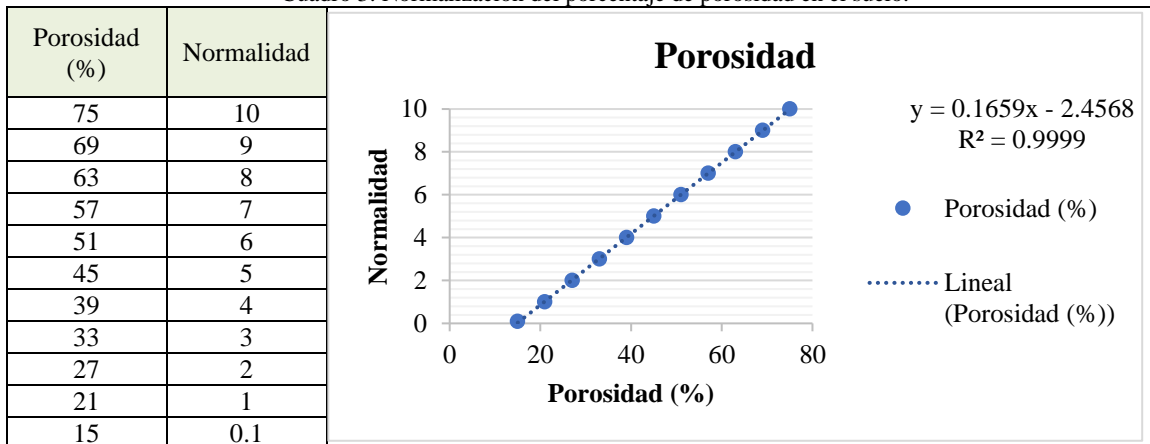
Cuadro 1. Normalización del porcentaje de arenas en el suelo.



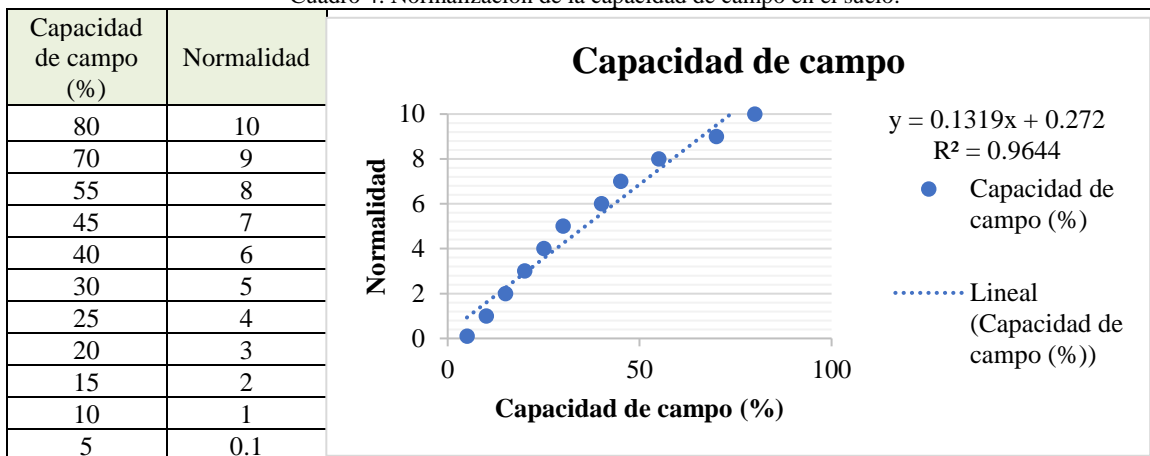
Cuadro 2. Normalización del porcentaje de arcillas.



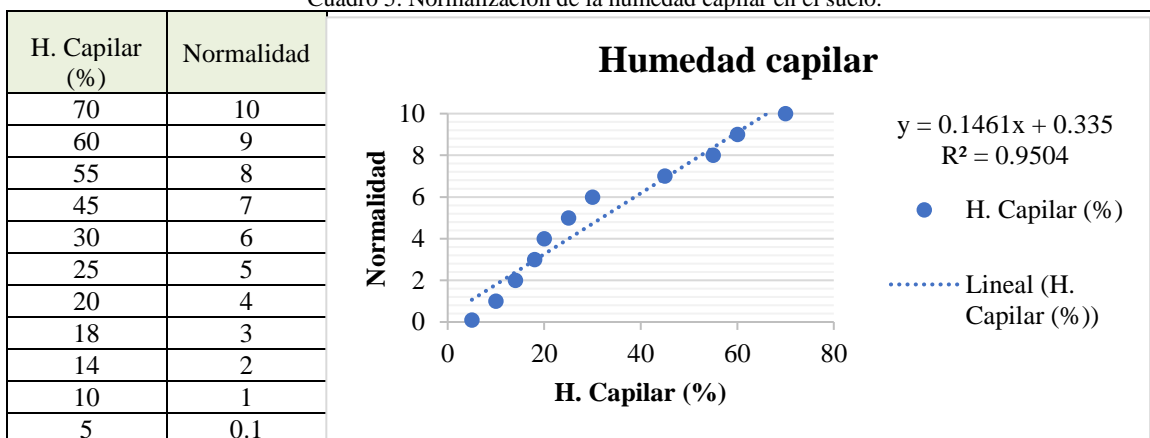
Cuadro 3. Normalización del porcentaje de porosidad en el suelo.



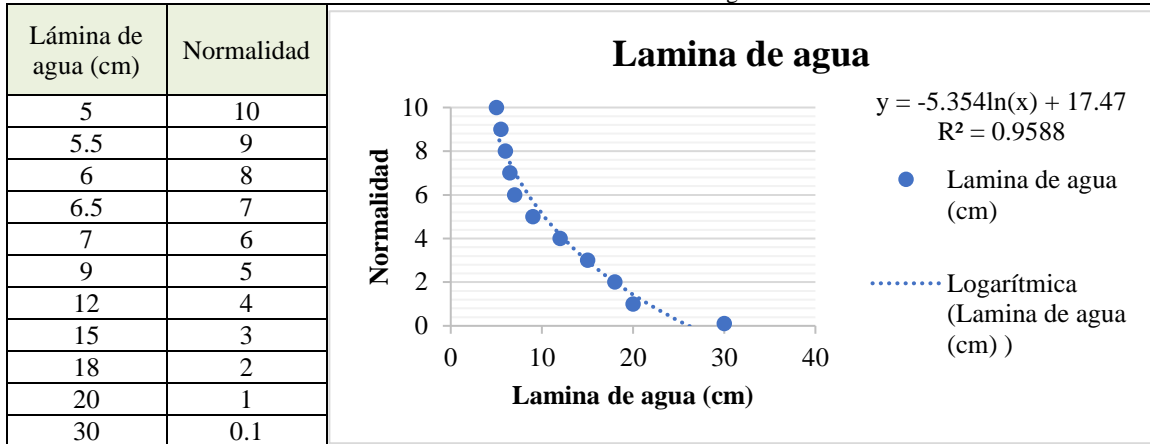
Cuadro 4. Normalización de la capacidad de campo en el suelo.



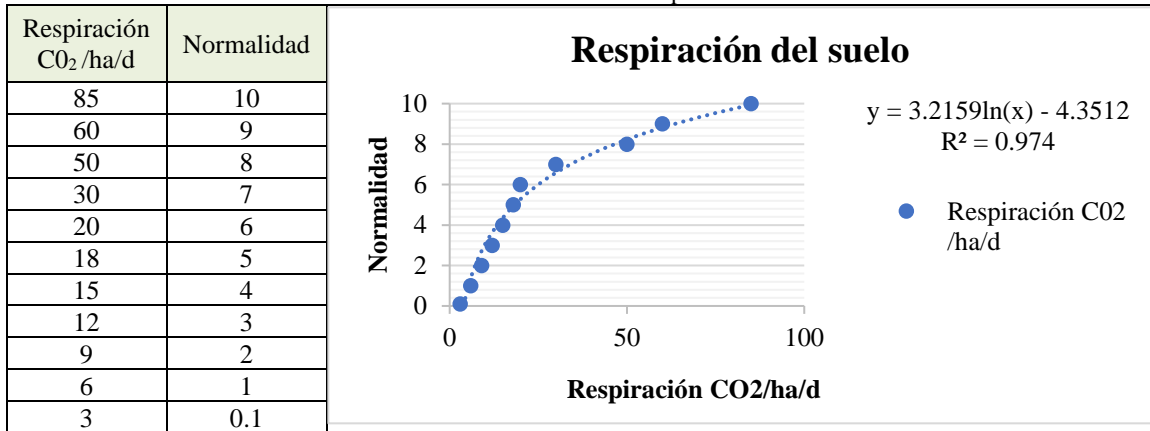
Cuadro 5. Normalización de la humedad capilar en el suelo.



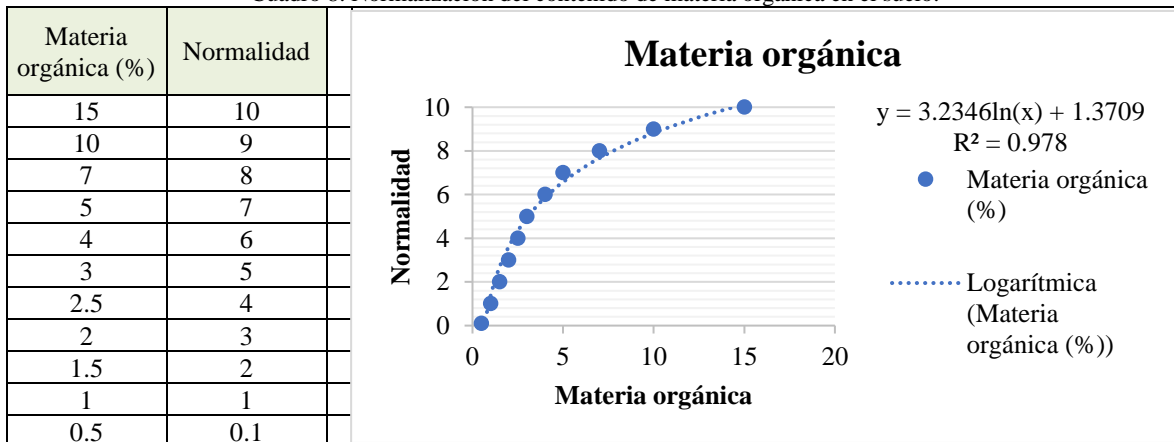
Cuadro 6. Normalización de la lámina de agua en el suelo.



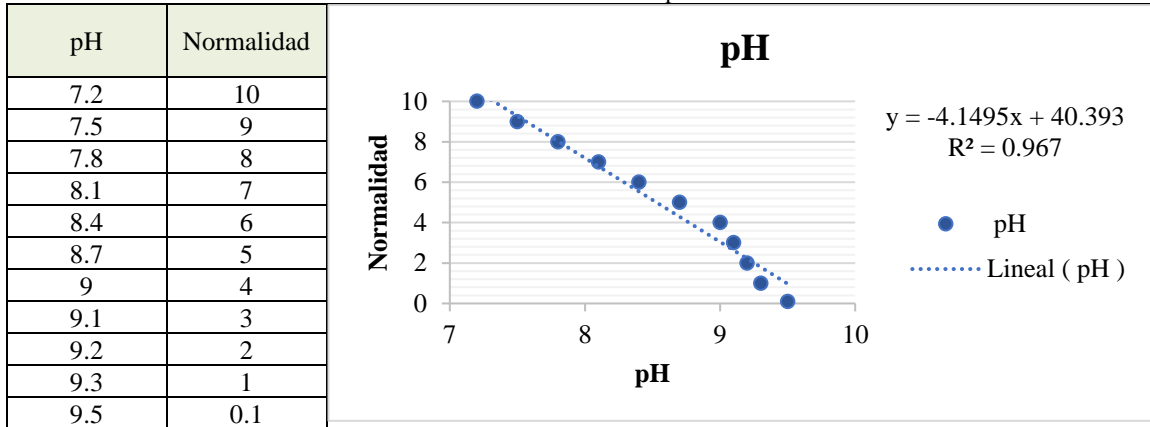
Cuadro 7. Normalización de la respiración del suelo.



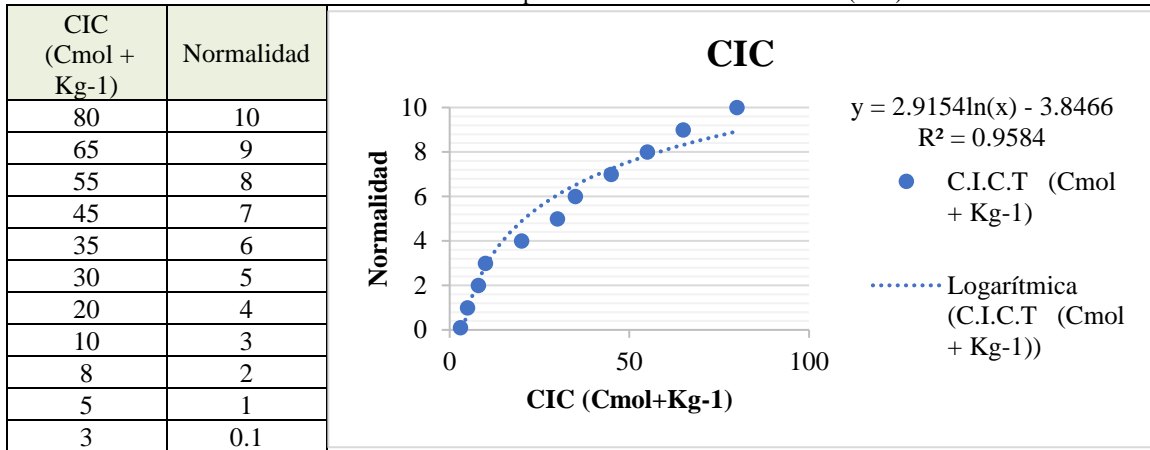
Cuadro 8. Normalización del contenido de materia orgánica en el suelo.



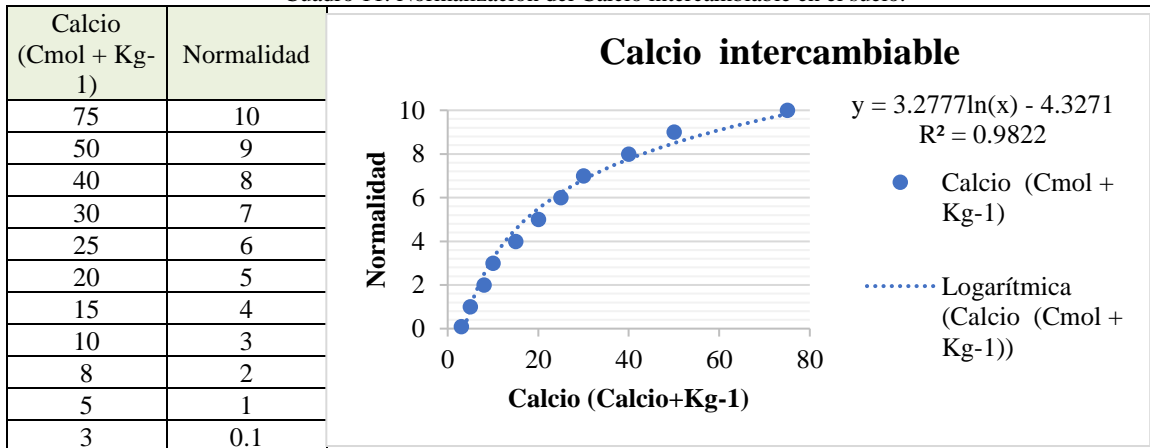
Cuadro 9. Normalización del pH en el suelo.



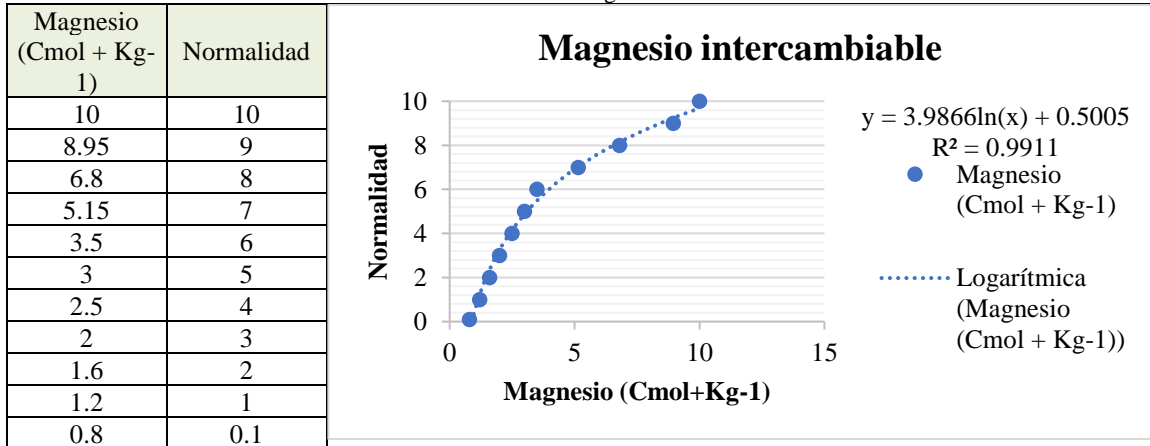
Cuadro 10. Normalización de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.



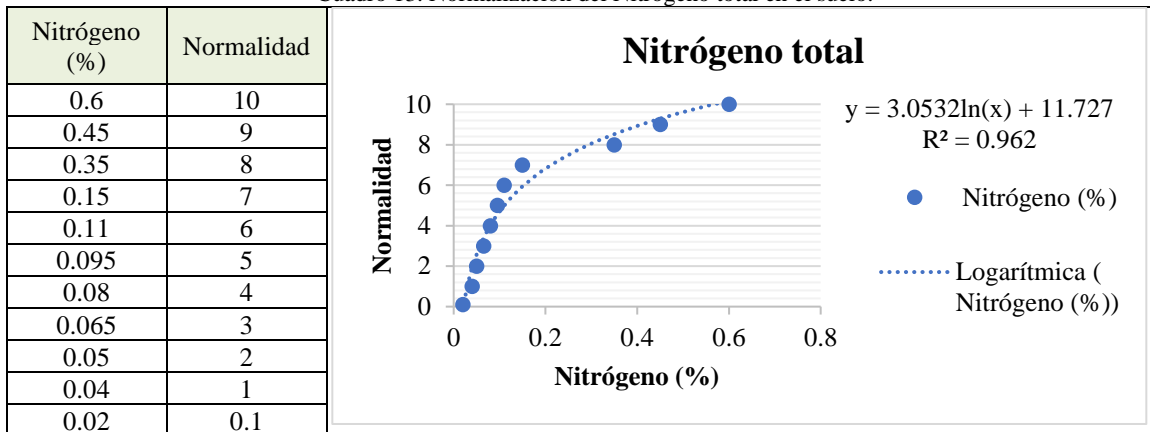
Cuadro 11. Normalización del Calcio intercambiable en el suelo.



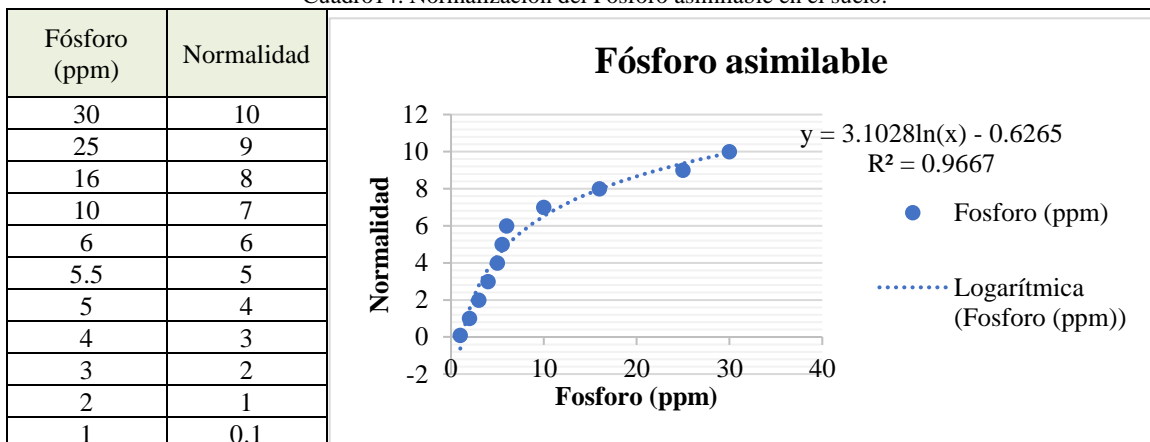
Cuadro 12. Normalización del Magnesio intercambiable del suelo.



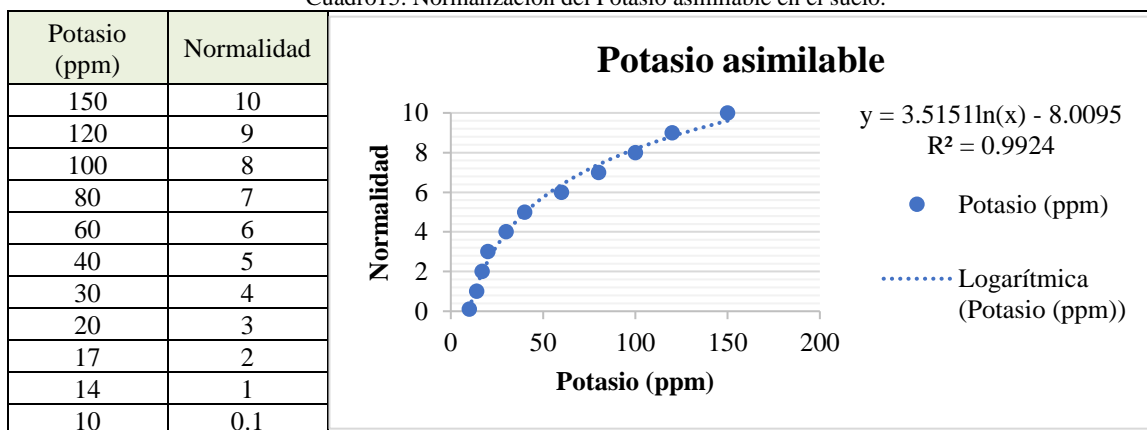
Cuadro 13. Normalización del Nitrógeno total en el suelo.



Cuadro 14. Normalización del Fósforo asimilable en el suelo.



Cuadro15. Normalización del Potasio asimilable en el suelo.



Cuadro 16. Ecuaciones para la normalización de los indicadores físicos y biológicos. En donde X= valor del indicador medido; Y= valor del indicador normalizado; ln= logaritmo natural.

Indicadores	Ecuación
% de arenas	$Y = -0.0043(X^2) + 0.4375(X) - 2.0969$
% de arcillas	$Y = -0.0033(X^2) + 0.2739(X) + 2.5334$
Porosidad	$Y = 0.1659 (X) - 2.4568$
Capacidad de campo	$Y = 0.1319 (X) + 0.272$
Agua capilar	$Y = 0.1461 (X) + 0.335$
Lámina de agua	$Y = -5.354 \ln(X) + 1747$
Respiración edáfica	$Y = 3.2159 \ln(X) - 4.3512$
% materia orgánica	$Y = 3.2346 \ln(X) + 1.3709$
pH real	$Y = -4.1495 (X) + 40.393$
C.I.C	$Y = 2.9154 \ln(X) - 3.8466$
Calcio intercambiable	$Y = 3.2777 \ln(X) - 4.3271$
Magnesio intercambiable	$Y = 3.9866 \ln(X) + 0.5005$
Nitrógeno total	$Y = 3.0532 \ln(X) + 11.727$
Fósforo asimilable	$Y = 3.1028 \ln(X) - 06265$
Potasio asimilable	$Y = 3.515 \ln(X) - 8.0095$

ANEXO 4

Cuadro 1. Propiedades físicas de las parcelas.

Parcelas	Clave	Capacidad de campo (%)	Lámina de agua (cm)	Porosidad %	Categoría
Actual	PA1	43.26	5.39	58.964	Alta
	PA2	38.13	4.75	55.339	Media
	PA3	40.24	5.01	53.385	Media
PROMEDIO		40.54	5.05	55.90	Media
Descanso de 5 a 7 años	P12	41.89	5.22	54.945	Media
	P7	42.28	5.27	52.014	Media
	P5AB	35.24	4.39	52.046	Media
PROMEDIO		39.81	4.96	53.00	Media
Con cobertura Vegetal	CV1	53.87	6.71	58.937	Alta
	CV3	51.61	6.43	59.082	Alta
	CV4	47.34	5.90	52.807	Media
PROMEDIO		50.94	6.35	56.94	Alta

Cuadro 2. Propiedades biológicas de las parcelas.

Tiempo de uso	Clave	Respiración CO ₂ /ha/d	Categoría	Materia orgánica (%)	Categoría
PA (Parcelas actualmente cultivadas)	PA1	34.44	Ideal	4.61	Mod. Rico
	PA2	31.00	Mod. Baja	3.51	Mod. Rico
	PA3	39.16	Ideal	4.38	Mod. Rico
PROMEDIO		34.87	Ideal	4.17	Mod. Rico
PD (Parcelas con descanso de 5 a 7 años)	PD1	36.37	Ideal	5.09	Mod. Rico
	PD2	37.19	Ideal	4.21	Mod. Rico
	PD3	49.20	Ideal	3.57	Mod. Rico
PROMEDIO		40.92	Ideal	4.29	Mod. Rico
CV (Parcelas con cobertura vegetal original)	CV1	61.53	Ideal	10.77	Ext. Rico
	CV3	61.53	Ideal	8.71	Rico
	CV4	73.47	Alta	7.45	Rico
PROMEDIO		65.51	Ideal	8.98	Rico

Cuadro 3. Propiedades químicas de las parcelas. Lig= ligeramente; Mod= Moderadamente

Parcela	Clave	pH real	Categoría	C.I.C (Cmol + Kg-1)	Categoría	Calcio (Cmol + Kg-1)	Categoría	Magnesio (Cmol + Kg-1)	Categoría
PA (Parcelas actualmente cultivadas)	PA1	8.35	Mod. Alcalino	63.13	Muy alto	31.06	Muy alto	9.82	Alto
	PA2	8.11	Mod. Alcalino	54.21	Alto	38.73	Muy alto	7.08	Alto
	PA3	7.76	Lig. Alcalino	51.30	Alto	40.85	Muy alto	6.21	Alto
PROMEDIO		8.08	Mod. Alcalino	56.21	Alto	36.88	Muy alto	7.70	Alto
PD (Parcelas con descanso de 5 a 7 años)	P12	8.17	Mod. Alcalino	43.83	Alto	30.54	Muy alto	7.58	Alto
	P7	8.23	Mod. Alcalino	44.54	Alto	35.56	Muy alto	4.86	Alto
	P5AB	8.27	Mod. Alcalino	44.26	Alto	36.35	Muy alto	5.24	Alto
PROMEDIO		8.22	Mod. Alcalino	44.21	Alto	34.15	Muy alto	5.90	Alto
CV (Parcelas con cobertura vegetal original)	CV1	7.93	Lig. Alcalino	68.48	Muy alto	47.04	Muy alto	8.70	Alto
	CV3	8.51	F. Alcalino	60.67	Muy alto	38.40	Muy alto	7.90	Alto
	CV4	8.04	Mod. Alcalino	53.05	Alto	42.80	Muy alto	7.72	Alto
PROMEDIO		8.16	Mod. Alcalino	60.73	Muy alto	42.75	Muy alto	8.11	Alto

Cuadro 4. Macronutrientes de las parcelas.

Parcela	Clave	Nitrógeno (%)	Categoría	Fosforo (ppm)	Categoría	Potasio (ppm)	Categoría
PA (Parcelas actualmente cultivadas)	PA1	0.18	Mod. Rico	2.71	Pobre	36.88	Bajo
	PA2	0.22	Mod. Rico	2.41	Pobre	30.86	Bajo
	PA3	0.18	Mod. Rico	2.19	Pobre	27.30	Bajo
PROMEDIO		0.19	Mod. Rico	2.44	Pobre	31.68	Bajo
PD (Parcelas con descanso de 5 a 7 años)	P12	0.18	Mod. Rico	4.24	Pobre	19.78	Bajo
	P7	0.17	Mod. Rico	4.93	Pobre	11.51	Bajo
	P5AB	0.21	Mod. Rico	5.45	Pobre	26.20	Bajo
PROMEDIO		0.19	Mod. Rico	4.87	Pobre	19.16	Bajo
CV (Parcelas con cobertura vegetal original)	CV1	0.45	Rico	5.92	Medio	28.66	Bajo
	CV3	0.38	Rico	5.24	Pobre	29.28	Bajo
	CV4	0.56	Ext. Rico	8.75	Medio	86.11	Medio
PROMEDIO		0.46	Rico	6.64	Medio	48.02	Medio

Cuadro 5. Índice de fertilidad del suelo.

Parcela	Clave	Índice de fertilidad		Parcela	Promedio del IFS	Índice de fertilidad
Actualmente cultivado	PA1	6.86	Medio	PA	6.78	Medio
	PA2	6.70	Medio			
	PA3	6.76	Medio			
Con descanso de 5 a 7 años	PD1	6.69	Medio	PD	6.59	Medio
	PD2	6.40	Medio			
	PD3	6.69	Medio			
Con cobertura vegetal original	CV1	7.58	Alto	CV	7.75	Alto
	CV2	7.32	Alto			
	CV3	7.84	Alto			

ANEXO 5

COMPOSTA

Con la aplicación de esta composta se pretende subir la concentración de los micro y macro elementos esenciales (N, P, K, Mg, Ca, Al, Fe, entre otros). El primer paso es utilizar la composta aérea durante la preparación del suelo, esto es de 20 a 15 días antes del trasplante de la plántula o de la preparación de los surcos, además de utilizarse para aporcar (apilar tierra alrededor de la base de una planta).

De manera general, la composta aérea se puede preparar de la siguiente manera:

Insumos

- 7 costales de estiércol de chivo / 10 costales de estiércol de vaca.
- 10 costales de suelo
- 10 costales de rastrojo molido
- 2.5 costales de carbón molido (carboncillos de 1 a 2 cm)
- 2 kg de cenizas de hueso
- 10 kg salvado de trigo
- 50 gr de azúcar
- 10 gr de levadura
- 1 machete o 1 vara dura
- Agua, cubetas, palas.
- 1 hule de 3x3
- 1 termómetro 100°C

Instrucciones para la preparación

Esta composta se usa para compostar materia orgánica, como lo es el estiércol, se deben tener todos los insumos a la mano. La primera mezcla se debe preparar 15 minutos antes, en esta mezcla se requiere el salvado de trigo, el azúcar y la levadura. Primero se disuelve el azúcar con la levadura en un recipiente, esto se deja reposar por 5 minutos, después, esta mezcla se agrega al salvado de trigo en una cubeta y se agrega agua hasta que el salvado quede firme, es decir que se puedan generar bolas uniformes.

En un espacio de al menos 3 x 3m se hace un cuadro de 1.5 x 1.5m (se puede modificar dependiendo de la porción a compostar), este cuadro nos va a ayudar a crear capas de insumos, por lo cual, en él se esparcen 2 costales de suelo, seguido de 1.5 costales de estiércol de chivo (2 de vaca), 2 costales de rastrojo, medio costal de carbón molido, se espolvorea la mezcla de salvado de trigo y la ceniza de hueso a modo de que sea suficiente para crear 5 capas iguales.

Este proceso se repite 4 veces para así obtener una mezcla de al menos 80 cm. Una vez teniendo esta mezcla, se riega, teniendo cuidado de no inundarla. El machete o la vara se entierran en la mezcla en varios puntos, probando que en todos los puntos el agua llegó hasta el fondo, esto se sabe si el utensilio usado está húmedo en la punta. Confirmando lo anterior, se tapa con el hule y con algunas rocas o material de alrededor se sella, es decir que el hule cubra hasta el fondo.

Por último, esta mezcla se traspasa con una pala hacia la parte de enfrente, esto hace que se vaya revolviendo, cada 24 horas por la mañana. Se debe revisar que la temperatura de la composta, no llegue a más de 60°C, por esto se debe medir la temperatura pasando el medio día, y si está por arriba de los 60°C se debe revolver para bajar la temperatura, por 10 días. Pasando los 10 días, solo se voltea 3 veces por semana hasta que sea utilizada. En caso de no contar con el termómetro se debe revolver la mezcla por la mañana y por la tarde.

Modo de empleo

Una vez lista la composta se debe aplicar, al menos 15 días antes de la siembra o de la preparación de los surcos. Esto para que la composta ayude a la mejorar la porosidad del suelo y al enriquecimiento de nutrientes. Se aconseja utilizar 1 costal de composta por cada 25 metros de surco. También se puede utilizar para aporcar el cultivo continuamente.

Costos

Dado que esta composta está diseñada para bajar los costos de un productor agrícola, los insumos son fáciles de conseguir, económicos, además el termómetro no necesita ser preciso, uno básico de cocina puede ayudar (100 pesos moneda nacional). Por lo que el productor no debe de generar un gasto de más de 300 pesos (moneda nacional).



Figura 1. Composta aérea. En este caso se usaron medidas diferentes, pero respetando la proporción de los insumos



Figura 2. Composta aérea con 5 días de volteo