



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**COMPARACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO ALMACENADO EN  
DOS SITIOS DE BOSQUE (CONSERVADO Y PERTURBADO) DEL  
CERRO EL HUIXTECO TAXCO GUERRERO**

**T E S I S  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
B I Ó L O G A  
P R E S E N T A:  
RUTH MÉNDEZ VELÁZQUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DRA. ROSALVA GARCÍA SÁNCHEZ**

**Tesis apoyada por el proyecto DGAPA-PAPIME PE214419  
(CIUDAD DE MÉXICO, 2021)**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# ÍNDICE

1.	RESUMEN .....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1.	LA IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES DE MÉXICO .....	3
2.2.	ALMACENES DE CARBONO .....	6
2.3.	SUELO Y SUS PROPIEDADES .....	9
2.4.	MICROORGANISMOS DEL SUELO.....	12
2.5.	RESPIRACIÓN MICROBIANA.....	14
2.6.	RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.....	16
3.	JUSTIFICACIÓN.....	19
3.1.	Problemática abordada.....	20
4.	HIPOTESIS.....	21
5.	OBJETIVOS .....	22
5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	22
5.2.	OBJETIVOS PARTICULARES .....	22
6.	MÉTODOS.....	22
6.1.	SITIO DE ESTUDIO .....	22
6.2.	RECOLECTA DE MUESTRAS DE CAMPO. ....	23
6.3.	TRABAJO DE LABORATORIO.....	26
6.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	29
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
7.1.	Biomasa fresca y seca de la hojarasca aportada.....	30
7.2.	Biomasa microbiana.....	33
7.3.	Propiedades físicas y químicas del suelo .....	42
7.3.1.	Densidad aparente, densidad real y espacio poroso .....	42
7.3.2.	Humedad del suelo .....	46
7.3.3.	Acidez del suelo .....	49
7.3.4.	Materia orgánica y carbono orgánico del suelo.....	51
7.3.5.	Fósforo disponible y nitrógeno total.....	55
8.	CONCLUSIONES.....	62
9.	BIBLIOGRAFIA .....	64
10.	ANEXO 1.....	77

# ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Reservorio de carbono en bosque (CONAFOR, 2018) .....	5
<b>Figura 2.</b> Tipos y características de la materia organica tomado de (CONAFOR, 2018) .....	6
<b>Figura 3.</b> Ciclo global del carbono imagen tomada (Brady, 1991) .....	7
<b>Figura 4.</b> Respiración en el ecosistema <a href="http://www.fao.org/3/ah648s/AH648S07.htm">http://www.fao.org/3/ah648s/AH648S07.htm</a> .....	15
<b>Figura 5.</b> Dinámica del carbono en la zona perturbada y conservada del Parque Recreativo El Huixteco.....	21
<b>Figura 6.</b> Zona de Estudio de Parque Recreativo El Huixteco .....	23
<b>Figura 7.</b> Cuadrante de 25×25 cm .....	24
<b>Figura 8.</b> Parámetros determinado e el laboratorio de izquierda a derecha biomasa microbiana, pH, densidad aparente y real, materia orgánica y fosforo .....	28
<b>Figura 9.</b> Biomasa fresca en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas ..	30
<b>Figura 10.</b> Biomasa seca en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas ..	31
<b>Figura 11.</b> Biomasa fresca y seca de la hojarasca en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	32
<b>Figura 12.</b> Concentraciones de dióxido de carbono en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	34
<b>Figura 13.</b> Carbono de biomasa microbiana en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	36
<b>Figura 14.</b> Cociente matabólico en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	39
<b>Figura 15.</b> Índice de eficiencia microbiana en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	40
<b>Figura 16.</b> Densidad aparente en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas .....	42
<b>Figura 17.</b> Densidad real en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas ..	43
<b>Figura 18.</b> Porcentaje de espacio poros en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	44
<b>Figura 19.</b> Porcentaje de agua del suelo en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	47
<b>Figura 20.</b> Humedad volumétrica en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	48
<b>Figura 21</b> pH de las temporadas en la zona conservada(ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas .....	49
<b>Figura 22.</b> Porcentaje de Materia Organica del suelo en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	51
<b>Figura 23.</b> Porcentaje de carbono orgánico en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	53
<b>Figura 24.</b> Presentación de fósforo en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	56
<b>Figura 25.</b> Presentación de nitrógeno en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	58
<b>Figura 26.</b> Relación de carbono nitrógeno en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.....	59

<b>Cuadro 1.</b> Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo.....	12
<b>Cuadro 2.</b> Técnicas utilizadas para la obtención de las propiedades físicas y químicas del suelo.....	29

## Agradecimientos

A Dios por haberme permitido concluir con esta meta, y darme la fuerza necesaria y por estar a mi lado en cada momento.

A la naturaleza que siempre me ha gustado y ahora es parte de mi vida profesional

A mi Padres Alma Ruth Velázquez Portilla y Daniel Méndez Martínez por su paciencia, apoyo incondicional en cada meta que se me ha presentado, sea personal y académica, también por todo su amor que me lo demuestran todos los días, los admiro y los quiero mucho. A mi hermano Dani por su apoyo y ocurrencias

A mis abuelos Juan Velázquez y Victoria Portilla por estar conmigo desde el inicio de mi formación académica, sus palabras de animo para concluir y por apoyarme los quiero mucho

A mi Tía Paty y mi Tía Cristy que son y serán una inspiración de seguir adelante con mis metas y por que me demostraron su cariño estando en mis presentaciones y por sus consejos que las tengo presentes en mi mente y en mi corazón.

A Julio Cesar por todo tu cariño, confianza, apoyo en todo momento y demostrarme todos los días el estar al pendiente de mi y de lo que hago, incluyendo este proyecto gracias por acompañarme y por las largas platicas que compartimos por la carrera que nos gusta, la Biología y sigamos compartiendo experiencias y sueños juntos. Te quiero mucho Mocha

A mis Amigas de facultad Anita y Andrea que en ellas encontré el valor de la amistad y aprendí que somos un buen trabajo en equipo, gracias por cada momento de diversión y sus palabras de animo en cada materia y claro las salidas a comer, espero que su compañía sea por muchos años mas. A Dany que a pesar de los cambios de planes que hemos tenido también encontré la amistad y el apoyo en estos años de carrera, Las quiero mucho

A mis compañeros de laboratorio Edna, Kalid, Miguel, Efraín, Cristofer, Andrea, Jari y Abi por incluirme y apoyarme en la toma de muestras y por que fueron una buena compañía en laboratorio

Además, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme aceptado dentro de sus aulas y formarme como una profesionista, orgullosa de su Universidad

Agradezco a mi Dra. Rosalva García Sánchez, por haberme dado la oportunidad de entrar a su laboratorio por su tiempo, paciencia y consejos para ser mejor y para la realización de mi tesis la estimo y respeto mucho

A mis sinodales integrado por Dr. Arcadio Monroy Ata, Dr. Gerardo Cruz Flores, Dr. Germán Calva Vásquez y Dr. Efraín Reyes Ángeles Cervantes por su tiempo y las aportaciones que hicieron que este proyecto se enriqueciera mas para el mejoramiento de mi tesis

A todos los Maestros que han formado parte de mi educación académica y todas las personas que se han cruzado en mi vida y ser el producto de muchas experiencias

Hay quienes luchan un día y son buenos

Hay quienes luchan un año y son mejores

Hay quienes luchan toda la vida y esos son  
imprescindibles.

# 1. RESUMEN

Uno de los depósitos más importantes del carbono en la biosfera se encuentra en los ecosistemas terrestres, en la materia orgánica vegetal viva y en la materia orgánica del suelo. En general la respiración del suelo es un proceso que refleja la actividad de sus componentes bióticos. La materia orgánica relaciona el carbono aportado por la biomasa vegetal, el carbono almacenado en el suelo y la microbiota edáfica, la cuál es sensible a la perturbación del suelo, por ello la estimación del carbono de biomasa microbiana (CBM) indica la condición del suelo en ecosistemas naturales.

El objetivo de este trabajo fue determinar el aporte de biomasa seca (hojarasca) como aporte a la materia orgánica del suelo (MOS) y su transformación a CBM en dos condiciones de suelo (zona conservada y perturbada) del Bosque templado del Parque de Huixteco, en dos condiciones de humedad y temperatura (estación de lluvias y secas). En cada zona, se establecieron 5 parcelas de 400 m<sup>2</sup> y 3 sub-parcelas de 25 × 25 cm. En cada sub-parcela, se colectó hojarasca superficial y muestras de suelo para análisis físicos, químicos y CBM. La biomasa se evaluó mediante diferencia de pesos, el CBM por fumigación e incubación y los análisis del suelo por los métodos sugeridos por la NOM-021-SERMANAT-2001. Los resultados mostraron que la hojarasca aportada en cada zona fue mayor en lluvias que en secas y casi el doble en la zona conservada que en la perturbada (conservada 207.40 g/m<sup>2</sup> lluvias vs 140.86 g/m<sup>2</sup> secas; perturbada 105.53 g/m<sup>2</sup> lluvias vs 89.60 g/m<sup>2</sup> secas). El % de MOS fue mayor en la zona conservada (8.95) que en la perturbada (1.44). El CBM en la zona conservada fue de 0.18 mg/m<sup>2</sup> lluvias y 0.12 mg/m<sup>2</sup> secas, en la zona perturbada fue de 0.28 mg/m<sup>2</sup> lluvias y 0.12 mg/m<sup>2</sup> secas. El pH del suelo fue moderadamente ácido (5.85 conservada vs 5.39 perturbada). Se concluye que aún son pocos los cambios en ciclaje del carbono y esto se debe a la condición de sitio, la estacionalidad no mostró que los cambios significativos.

---

## 2. INTRODUCCIÓN

El cambio climático a nivel global es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta el género humano. Una manifestación de dicho cambio es el incremento en la temperatura del planeta de cerca de medio grado centígrado desde el siglo pasado a la fecha. Cabe mencionar que la atmósfera está compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno y contiene pequeñas cantidades de hidrógeno, helio, argón, neón y otros gases. Algunos de estos últimos, tales como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) son considerados como los principales gases de efecto invernadero (GEI). Como consecuencia del incremento de la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  y otros gases de efecto invernadero, se espera que la temperatura media superficial a nivel global aumente entre 1.4 y 5.8 °C de 1990 al 2100 (Ballester y León, 2007).

Al dióxido de carbono se le considera como el principal gas responsable del efecto invernadero, la combustión de oxígeno gaseoso genera un alto grado de impureza dando altas concentraciones de  $\text{CO}_2$  y que a su vez ha provocado un incremento en la temperatura. Sin embargo, los gases de efecto invernadero podrían reducirse mediante dos procesos: a) la reducción de emisiones antropogénicas de  $\text{CO}_2$ , y b) creando o mejorando los sumideros de carbono en la biósfera. Sobre este punto, el manejo forestal y la conservación de los bosques pueden contribuir a la disminución del calentamiento global mediante la conservación, secuestro, almacenamiento y concentración del carbono atmosférico (Vela, 2012). De cualquier manera, resultados de investigaciones

---

recientes muestran que los bosques pueden almacenar de 60-115 (Mg C/ha). (Lugo y Brown 1992), la cual puede desviar las emisiones que producen la deforestación y degradación (Rojo *et al.*, 2003).

## **2.1. LA IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES DE MÉXICO**

México cuenta con millones de hectáreas de vegetación forestal, equivalente a 70% de su territorio; de esta superficie, 64.9 millones de hectáreas corresponden a bosques y selvas, en donde habitan aproximadamente 11 millones de personas, quienes satisfacen sus necesidades básicas a partir de dicho capital natural (Zamora, 2016). Los bosques de México son el segundo bioma más extenso del país con un 21% del territorio (Rzedowski, 1992), y uno de los más biodiversos a nivel mundial, debido, en parte, a que la mayoría de las especies que conforman el estrato arbóreo tienen su centro de origen en las montañas del territorio nacional (Fregoso *et al.*, 2001; Valencia, 2004).

México se debe caracterizar como un “país forestal” o “medianamente forestal”, ya que, si comparamos al sector forestal mexicano con una muestra de otros 23 países de importancia forestal, se ve que un tercio de la superficie terrestre de México está cubierto con bosques o selvas, los ecosistemas áridos y semiáridos constituye un tercio de la superficie terrestre global y un 60% del territorio mexicano, mientras que otros países, como Brasil, Bolivia, Congo, Perú o Finlandia, tienen más del 50% de su superficie terrestre cubierta de bosques o selvas (Rzedowski, 1992).

Los bosques templados brindan importantes servicios ecosistémicos de suministro (agua y alimentos), regulación (clima y nutrientes), soporte (ciclos

---

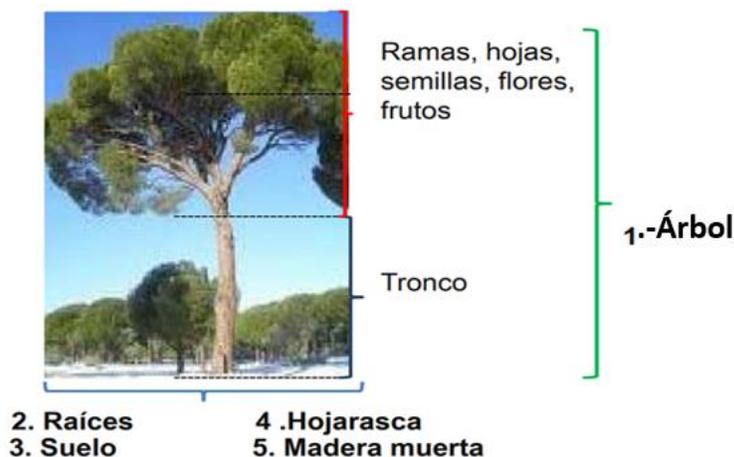
biogeoquímicos) y culturales (religioso y recreativo) (Hansen *et al.*, 2013). Sin embargo, han sido estos beneficios los que han ocasionado que estos ecosistemas sean fuertemente alterados por el ser humano, modificando no sólo la composición, estructura y funcionalidad de las especies que lo habitan sino también las propiedades físicas y químicas del sistema suelo (Chen *et al.*, 2001), repercute directamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

De manera natural la dinámica del reciclaje de nutrientes en los bosques templados es lenta en comparación con las selvas tropicales húmedas, ya que la cantidad de materia orgánica en forma de hojarasca sobrepasa a la materia orgánica del suelo (MOS), presentando así una capa de mantillo de lenta descomposición debido a las acículas de las grandes coníferas, así como a los troncos y ramas caídos, que tienen alto contenido de material recalcitrante de difícil descomposición. Aunado a esto, las condiciones ambientales que caracterizan a este tipo de ecosistemas, como las bajas temperaturas y pH de suelo ligeramente ácido, limitan la actividad de las especies de microorganismos descomponedores, por lo que la composición y abundancia de estos organismos del suelo juegan un papel esencial en los procesos de reciclaje y liberación de nutrientes (Críquet *et al.*, 2004).

Los bosques captan y mantiene la calidad de agua, infiltrándose en sus suelos, regulan el caudal de los ríos y reducen la erosión y la sedimentación en zonas con menor inclinación. Para la población, en general, los bosques son fundamentales en el mantenimiento de las cuencas de captación de agua, de donde se abastecen los acuíferos que usan las ciudades (Murty *et al.*, 2002).

Los bosques son también un recurso valioso para el esparcimiento de las poblaciones urbanas y además tienen gran importancia como recurso educativo y fuente de datos para la investigación científica (Chapela, 2012). Asimismo, juegan un papel muy importante en el ciclo del carbono a nivel mundial dado que absorben casi la tercera parte de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono.

Los Bosques capturan el carbono de la atmósfera ( $\text{CO}_2$ ) mediante el proceso de fotosíntesis, convirtiendo la energía en biomasa forestal y a su vez emitiendo de nuevo el carbono a la atmósfera mediante la respiración y descomposición de los residuos vegetales. A nivel mundial este intercambio de carbono entre los bosques y la atmósfera es influido por disturbios naturales causados por el hombre (IPCC, 2014). Se calcula que los bosques tienen la capacidad de retener más carbono, que el contenido en todas las reservas de petróleo existentes en el mundo, se le conoce reservorios de carbono (Figura 1).

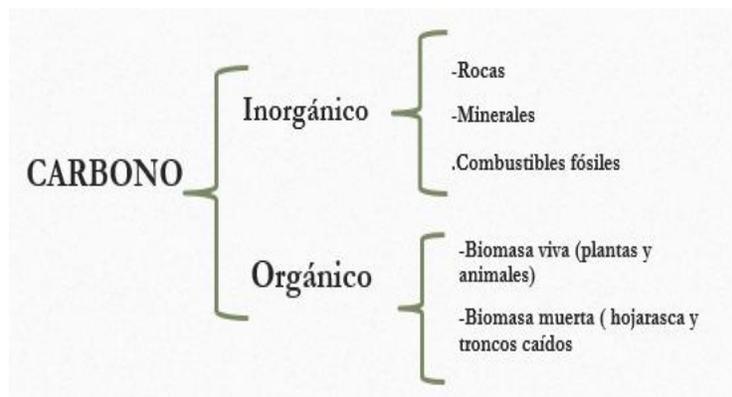


**Figura 1.** Reservorio de carbono en bosque (CONAFOR, 2018)

## 2.2. ALMACENES DE CARBONO

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo. El carbono puede ser almacenado como materia inorgánica y materia orgánica (Figura 2; CONAFOR, 2018).

El carbono es el elemento más abundante en la materia orgánica del suelo y se le reconoce ampliamente como un componente determinante de la calidad del suelo debido a que cumple funciones críticas como fuente y almacén de nutrientes (Galicía *et al.*, 2016). El Carbono se encuentra en equilibrio dinámico entre la edafósfera, la atmósfera y la hidrosfera. Específicamente en la edafósfera, junto con los organismos que la habitan, forma el segundo reservorio de carbono más grande en la Tierra (Martínez, 2007).



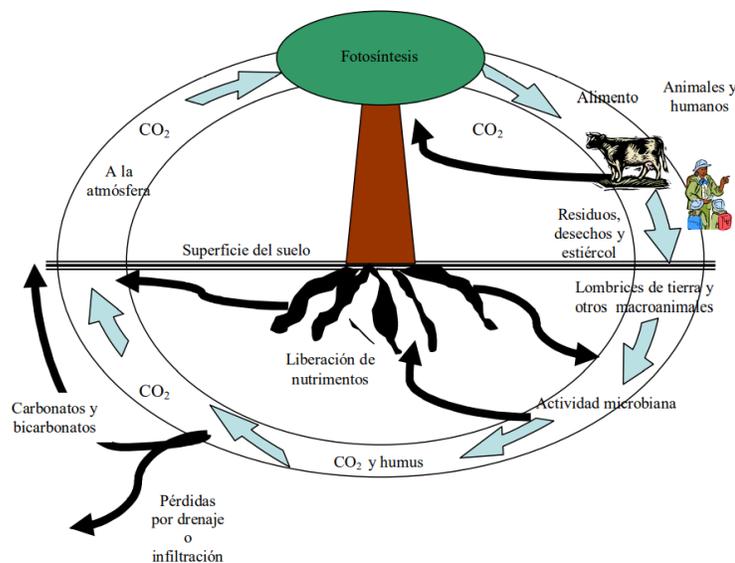
**Figura 2.** Tipos y características de la materia orgánica tomado de (CONAFOR, 2018).

Entre los diversos ecosistemas, los forestales son particularmente importantes como reservorio de carbono, porque los árboles retienen altas cantidades de este elemento. El carbono cumple un papel fundamental en los procesos

fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono (Taiz y Zeiger, 2013).

El ciclo comienza cuando el  $\text{CO}_2$  atmosférico es captado por las plantas a través de los estomas de las hojas y es convertido en carbohidratos a través de la fotosíntesis (Figura 3). Cuando las hojas mueren y caen se someten a procesos de descomposición y mineralización, de tal forma que el C regresa a la atmósfera desde el suelo en forma de  $\text{CO}_2$  liberado a partir de la respiración de plantas y microorganismos (Khoo y Tan, 2006).

Los reservorios de carbono están relacionados con la sustentabilidad de los ecosistemas y sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Rojas, 2015).



**Figura 3.** Ciclo global del carbono imagen tomada (Brady, 1991)

---

Los ecosistemas forestales pueden capturar cantidades significativas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en particular CO<sub>2</sub>. Por tal motivo, en las últimas décadas existe un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación, mediante la conservación forestal, reforestación, creación de granjas forestales y otros métodos de manejo de los ecosistemas forestales. Gran número de estudios han demostrado la capacidad de las especies forestales para almacenar carbono en su biomasa (Powlson, 1987).

En los ecosistemas terrestres el almacén más importante de C es el suelo, pues contiene hasta tres veces más C que la vegetación o la atmósfera. La cantidad de C almacenado en el suelo depende del clima, composición de la vegetación, actividad microbiana y régimen de disturbio. Asimismo, el C es la principal fuente de energía para la actividad de las comunidades microbianas del suelo, puesto que regula los procesos de transformación de los nutrientes y la fertilidad del mismo (Montaño, 2016).

Por lo tanto, donde la deforestación debe ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono. La reforestación, sobre todo en los suelos degradados, con bajo contenido de materia orgánica, será una forma importante de almacenar carbono a largo plazo, tanto en la biomasa, como en el suelo (Galicía *et al.*, 2016).

El carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos, constituye un elemento clave del ciclo global del carbono a través de la atmósfera, vegetación, suelo, ríos y océano. Dependiendo de la

---

geología local, las condiciones climáticas y el uso y gestión del territorio (entre otros factores ambientales) los suelos tienen diferentes cantidades de COS (Andrade, 2016).

El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) y, como tal, constituye la energía para los procesos microbianos en cualquier suelo. La MOS contribuye a funciones clave del suelo, ya que es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes vegetales, y permite la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo tanto, es esencial para garantizar la salud del suelo, la fertilidad y la producción de alimentos, la pérdida de COS indica un cierto nivel de degradación del suelo (Galicía *et al.*, 2016).

### **2.3. SUELO Y SUS PROPIEDADES**

El suelo es un cuerpo natural y dinámico que cambia según el tiempo y el espacio. Es soporte de una gran variedad de organismos como la vegetación, característica relevante, pues de ella dependen las actividades agrícolas, fuente de alimento para la humanidad. A nivel del globo terrestre, puede decirse que el suelo constituye una capa denominada "edafósfera" considerada como una geo membrana que permite el intercambio de materia y energía entre la litosfera y la atmósfera, sirviendo de protección a la primera ante los efectos climáticos (Siebe, 1996).

El suelo es un subsistema, formando parte fundamental de cada ecosistema: ello significa que los suelos varían, siendo efecto y causa es decir cada sistema modula un suelo, pero, a su vez, el funcionamiento de todo el sistema depende

---

del tipo de suelo que mantiene. El suelo posee una infinidad de características, no obstante, algunas como las de abajo listadas son más importantes para el desarrollo de los seres vivos del suelo (Bautista, 2000).

- **Porosidad** permite el paso del aire y agua en el interior del suelo, elementos esenciales para el desarrollo de los microorganismos y las plantas.
- **Estructura** depende del arreglo o configuración de sus partículas, compuestos por diferentes cantidades de arena, limo y arcillas unidas entre sí, formando lo que se conoce como agregados determinan el grado de porosidad, necesaria para la infiltración de agua y aireación de las raíces.
- **La disponibilidad de nutrientes**, necesarios para el crecimiento vegetal.
- **Contenido de materia orgánica** lo que mejora la fertilidad del suelo.
- **Actividad microbiana**, que interviene en distintos procesos vitales para el ecosistema como el ciclaje de nutrientes, la fertilidad del suelo, su estructura y el crecimiento vegetal (Álvarez, 2004).

La salud de los recursos de suelo y una correcta gestión de estos es vital, no solo para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, sino también para que los suelos desempeñen sus múltiples funciones en la mejora de la productividad agrícola, soporte para el crecimiento de la cobertura vegetal, regulación y almacenamiento de flujo hídrico en el medio ambiente, atenuación de los efectos nocivos de contaminantes e incluso la mejora de la salud humana (Martínez, 2007).

---

Sobre el suelo se encuentra una cobertura vegetal que le aporta nutrientes y materia orgánica contribuyendo a mejorar su estructura y protección frente a procesos erosivos. Los suelos, entonces desempeñan correctamente todas sus funciones. No obstante, el equilibrio de los suelos se puede perturbar por diversos motivos, entre los que destacan, los de origen antrópico. La explotación indiscriminada de los recursos naturales como consecuencia del incremento de la demanda de madera, pastos, alimentos, cosecha etc. ha conducido a la degradación de los suelos forestales, que se transforman en suelos agrícolas a un ritmo alarmante (Ferrera, 1999).

Asimismo, se ha tomado conciencia de que el suelo es un componente crítico de los ecosistemas ya que mantienen la calidad medio ambiental local, regional y global (Martínez, 2012). Para la evaluación de la calidad de suelo, hay un conjunto de indicadores básicos de suelo (cuadro 1), estas propiedades abarcan la mayor parte de los procesos biogeoquímicos.

### **Suelos forestales**

Los suelos forestales sirven como medio para el sustento de la vegetación forestal, los cuales, a su vez, son los ecosistemas más diversos en número de taxa. Son cuerpos naturales que constan de materia mineral y orgánica en equilibrio dinámico con variables cantidades de agua y aire que están habitados por diversos organismos. Estos suelos presentan características especiales que provienen de la influencia de la hojarasca, raíces de árboles y una amplia gama de organismos, cuya distribución y abundancia depende de la presencia de vegetación forestal (Bockheim, 1991).

**Cuadro 1.** Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo

<b>INDICADORES DE CALIDAD</b>	<b>RELACIÓN DE ENTRE EL ESTADO DEL SUELO Y SU FUNCIÓN</b>
<b>FÍSICOS</b>	
Textura	Controla la retención y transporte del agua y nutrientes, asimilación e intercambio de oxígeno
Profundidad de enraizamiento del suelo	Influencia en la mayoría de los recursos (agua, oxígeno, nutrientes) disponibles para las plantas
Densidad aparente	Afecta e influyen en el suministro de oxígeno, productividad y erosividad.
Capacidad de retención de agua	Relación la retención del agua, transporte y erosión, agua disponible.
Porosidad	Cantidad de macro y microporos contenidos en el suelo, ellos controlan el equilibrio entre el aire y agua
Estabilidad estructural	La estructura regula la presencia de los poros y sus equilibrios.
<b>QUÍMICOS</b>	
Materia orgánica	Cantidad de carbono orgánico contenido entre los agregados del suelo, afecta la disponibilidad y reposición de nutrientes
pH	Regulador de procesos de intercambio catiónico, disponibilidad de nutrientes y microorganismos
Capacidad de Intercambio catiónico	Intercambia nutrientes entre los suelos y las plantas, presente en suelos agrícolas y naturales.
Conductividad eléctrica	Define umbrales para la actividad microbiológica y nutrición de plantas
N, P, K Intercambiables	Macro nutrientes disponibles para plantas.
<b>BIOLÓGICOS</b>	
Biomasa microbiana	Potencial catalítico microbiano y reposición de carbono y nitrógeno.
Fijación de nitrógeno	Refiere a la toma de Nitrógeno atmosférico mediante bacterias
Respiración del suelo	Actividad relativa de biomasa microbiana

## **2.4. MICROORGANISMOS DEL SUELO**

Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en la ecología del suelo por ello la actividad microbiana, es a menudo citada como un componente clave de una buena calidad del suelo, pues mediante la descomposición de restos de animales y plantas, los microorganismos reciclan nutrientes esenciales para la cobertura vegetal, descomponen residuos orgánicos sintetizan sustancias húmicas, favorecen la agregación y fijación de

---

nitrógeno, actúan como indicadores sensibles de la contaminación de los suelos etc. (Ferrera, 1999).

La densidad de microorganismos en el suelo es, en gran medida, estimulada por la abundancia de materiales carbonados (mucílago, exudados) en la rizósfera, lo que promueve un hábitat favorable para la colonización y crecimiento de los microorganismos, por lo que la comunidad microbiana se distribuye en parches y su distribución es distinta en esta zona al resto del suelo (Coleman, 2004).

En cuanto a su relación con la calidad de un suelo, o con procesos de degradación o recuperación del mismo, no es necesario conocer los tipos de microorganismos que llevan a cabo funciones concretas sino la actividad microbiana en ese determinado ambiente, para ello parámetros de tipo bioquímico pueden dar una idea clara de los procesos microbianos que se producen en un suelo de manera global por ejemplo la determinación del C y N de la biomasa microbiana, mineralización nitrógeno, determinación de ATP, respiración de suelo, la actividad oxido-reductasa, deshidrogenasa y catalasa (Di Ciocco, 2014).

La importancia que hoy en día está adquiriendo la determinación de la actividad microbiana de los suelos es cada vez mayor, puesto que sin su ayuda sería imposible llegar a entender la funcionalidad de dicho suelo y esto es esencial para que sus funciones ocurran de manera correcta (Ikkonen, 2004).

La perspectiva de una elevada actividad microbiana se considera como un indicador positivo de la calidad del suelo ya que amortiguaría la contaminación

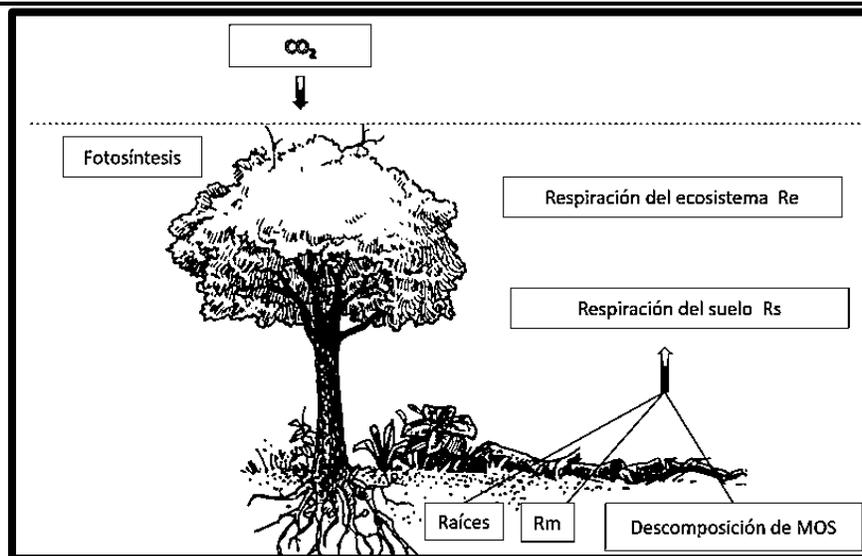
---

del medio ambiente. Por otro lado, la actividad microbiana es responsable de la degradación del carbono orgánico del suelo, el cual influye de forma positiva en diversas formas como: favorecer la estructuración del suelo, la circulación y el almacenamiento de agua, el desarrollo radicular, e incluso actuar como una reserva de nutrientes (Bautista, 2000).

## **2.5. RESPIRACIÓN MICROBIANA**

La respiración implica una serie de procesos metabólicos para transformar moléculas orgánicas que liberan energía, agua y CO<sub>2</sub> dentro de las células. De esta forma casi todos los organismos usan vías similares para la obtención de energía. El CO<sub>2</sub> es un producto del metabolismo, por el cual los seres vivos obtienen energía para su crecimiento, reproducción y supervivencia. En términos generales la respiración del suelo es un proceso que refleja la actividad microbiana de los componentes bióticos del mismo incluyendo a diversos grupos microbianos como las bacterias, hongos y protozoos, además de la actividad radical de las plantas (Paredes, 2016).

Además, la respiración del suelo consiste en la suma de la producción de CO<sub>2</sub> liberado por respiración de raíces (respiración autotrófica), la respiración microbiana en la rizósfera por el consumo de exudados de carbohidratos lábiles, la descomposición de hojarasca, la oxidación de materia orgánica y la respiración de la fauna del suelo (respiración heterotrófica) como se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** Respiración en el ecosistema <http://www.fao.org/3/ah648s/AH648S07.htm>

La respiración del suelo también se ve afectada por otros factores como la entrada de hojarasca y calidad de la materia orgánica (Luan *et al.*, 2012) que a su vez se encuentran íntimamente relacionadas con la temperatura y humedad. Estas últimas se consideran los factores ambientales más influyentes sobre la respiración del suelo ya que afectan la productividad de los ecosistemas terrestres y la tasa de descomposición de la materia orgánica (Paredes, 2016).

Esta actividad biológica refleja la degradación de los compuestos orgánicos de carbono en los suelos mediante dos procesos de gran importancia: pérdida del carbono del suelo y el reciclado de los nutrientes del mismo (Bautista, 2000). La respiración del suelo se refiere a la producción de  $\text{CO}_2$ , típicamente contribuye del 30 al 80 % de la respiración de los ecosistemas terrestres, que deriva de la actividad metabólica de las raíces y el resto de las comunidades microbianas (Gamboa *et al.*, 2011). La biomasa microbiana tiene altas tasas de respiración y metabolizan parte del C a  $\text{CO}_2$  para mantener sus tasas de

---

mineralización (Chapin *et al.*, 2011), factores como la temperatura y la humedad controlan la actividad de la biomasa microbiana (Metting, 1992), en el bosque.

La respiración del suelo varía de acuerdo con las condiciones de cada ecosistema y a sus características ambientales y biológicas. A nivel global la respiración del suelo es menor en la tundra y pantanos, aumenta en los bosques tropicales húmedos en donde la temperatura y la humedad son altos y constantes durante todo el año (Delgadillo, 2011). En el caso de los bosques templados la precipitación y temperatura adecuada para la actividad microbiana es favorable solo en el verano, en el invierno esta actividad es casi nula (Lou y Zhoy, 2006).

El suelo presenta importantes cantidades de carbono lábil el cual se libera en la atmosfera a través de la respiración del suelo, incorporándose a los flujos de dióxido de carbono hacia la atmósfera en el ciclo global del carbono, convirtiéndose en un componente básico en el control del cambio climático (Quinton *et al.*, 2010). Otra parte del carbono del suelo queda almacenado en forma de humus recalcitrante que puede durar décadas antes de ser liberado por los organismos que habitan en el suelo en su proceso de respiración (Mariño, 2002).

## **2.6. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA**

La mayoría de las causas indirectas o directas de la degradación de bosques y paisajes es de origen humano y repercute en el suelo ocasionando pérdida de biodiversidad, reducción de la superficie de suelos fértiles y merma de las

---

existencias de carbono. La minería, la construcción de infraestructuras y la expansión urbana también son importantes motores de la degradación de los bosques (FAO, 2015).

La inversión de la tendencia a la degradación de los bosques constituye, por lo tanto, una tarea ineludible para la humanidad. La restauración se define como toda actividad intencional mediante la cual se inicia o se acelera el proceso de recuperación de un ecosistema en situación de degradación (Cruz, 2006). Las iniciativas de restauración deberían planificarse a nivel del paisaje, con la finalidad de restablecer la integridad ecológica y fomentar el bienestar humano. Según la definición más coherente hoy disponible, formulada por la Asociación Global sobre Restauración del Paisaje Forestal, la restauración de bosques y paisajes es “un proceso activo que reúne a las personas para identificar, negociar e implementar prácticas que restauren el balance óptimo acordado entre los beneficios ecológicos, sociales y económicos” (FAO, 2015).

La restauración de bosques y paisajes es una actividad que busca equilibrar la reposición de los servicios del ecosistema en los hábitats silvestres como la biodiversidad, la regulación de los recursos hídricos, el almacenamiento de carbono y otros factores y mantener las funciones productivas en beneficio de la agricultura y demás usos afines de la tierra (McGuire, 2014).

La conservación de la biodiversidad edáfica y la provisión de otros servicios medioambientales, por ejemplo, provisión de agua y protección del suelo y la creación de paisajes que secuestren grandes cantidades de carbono y sean resilientes ante alteraciones son las mejores formas de restaurar el suelo. Los

---

objetivos, estrategias y planes de acción para la restauración de los suelos deben considerar las propiedades específicas del mismo, así como los intereses y decisiones de los usuarios y partes interesadas en la restauración del suelo (Van Oosten, 2014)

---

### 3. JUSTIFICACIÓN

En el estado de Guerrero existen tres regiones fisiográficas importantes: la montaña, la costa y la cuenca del río Balsas, en esta última se encuentra un macizo montañoso conocido como la Sierra de Taxco; aquí se localiza el cerro del Huixteco que es uno de los más altos de la sierra, en él se pueden encontrar comunidades vegetales de climas templados como encinares, pinares y bosques de niebla, por mencionar algunos, es considerado la fuente principal de agua y aire puro de la cual se benefician poblaciones importantes, como la ciudad de Taxco.

Los ecosistemas forestales son sumideros naturales de carbono atmosférico y por lo tanto juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático, en años recientes se han publicado trabajos que reportan las cantidades de carbono almacenado en diferentes bosques del país, al igual que diferentes estudios sobre biomasa microbiana y niveles de respiración, sin embargo, existe poca información sobre los reservorios de biomasa microbiana y carbono para los bosques del estado de Guerrero (Navarro-Martínez *et al.*, 2020).

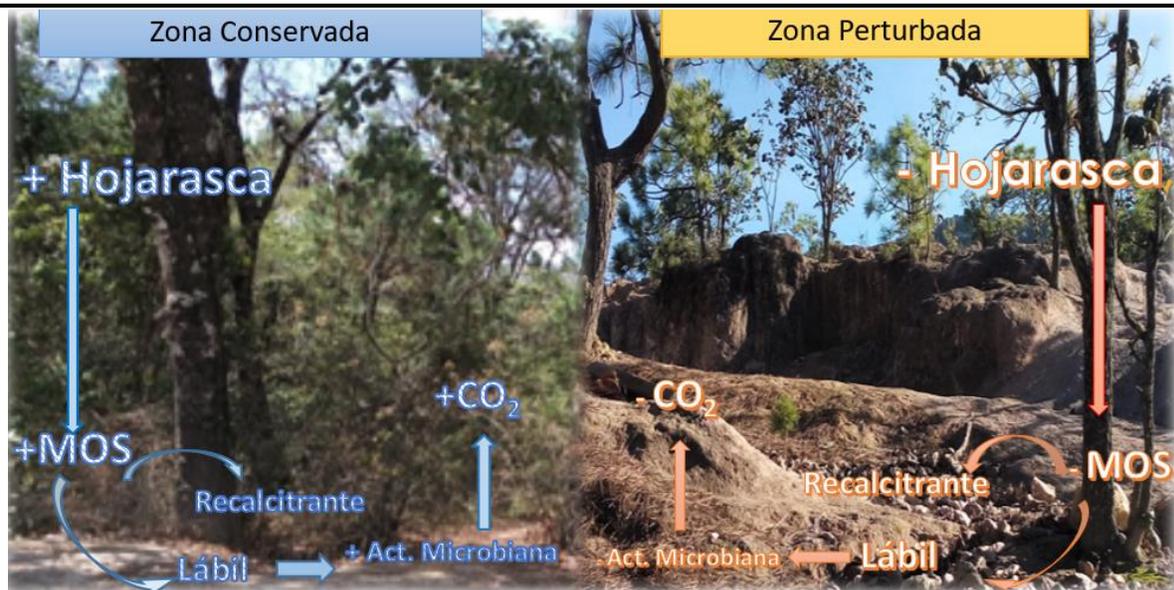
Recientemente, la actividad microbiana ha sido empleada como un elemento para el diagnóstico de la calidad biológica del suelo, este elemento es de los primeros en modificarse cuando la perturbación del suelo del bosque ocurre, sin embargo, aún faltan datos de referencia en muchos sitios de bosque templado, este trabajo puede contribuir a generar datos de referencia de este importante indicador biológico, sin embargo, no debe confundirse el deterioro

---

la actividad microbiana en suelos deteriorados con los cambios estacionales que suelen ocurrir en bosques de pino-encino de sitios como el Huixteco.

### **3.1. Problemática abordada**

En el Parque recreativo del Huixteco, las continuas actividades humanas han promovido que algunas áreas se hayan perturbado más que otras, esto se refleja en la cobertura vegetal. En este parque se seleccionaron dos sitios, en uno de ellos se encuentra mayor cubierta vegetal (zona conservada), mientras que el otro sitio conserva la vegetación arbórea pero ha perdido la cubierta vegetal herbácea (zona perturbada), ello sugiere que en la zona conservada se producirá y aportará mayor cantidad de hojarasca, la cual pasará a ser parte de la materia orgánica del suelo (MOS) lábil y recalcitrante, la MOS lábil será rápidamente degradado por los microorganismos del suelo (bacterias y hongos) y otra parte de ella (MOS recalcitrante) pasará al almacén del suelo, como resultado de mineralización de la MOS lábil la actividad microbiana será mayor y habrá mayor liberación de CO<sub>2</sub>, en la zona perturbada se espera que estos procesos tengan valores significativamente menores (Figura 5).



**Figura 5.** Dinámica del carbono en la zona perturbada y conservada del Parque Recreativo El Huixteco.

## 4. HIPOTESIS

En la zona conservada del bosque de pino-encino del Parque Recreativo “El Huixteco”, al haber mayor aporte de materia orgánica (hojarasca) habrá mayor cantidad de materia orgánica en el suelo (lábil y recalcitrante), lo que favorecerá la biomasa microbiana, principalmente en la estación de lluvias, esto se reflejará en mayor liberación de  $\text{CO}_2$ ; en la estación seca, la biomasa y la actividad microbiana será menor, pero mayor a los valores que se alcancen en el suelo de la zona perturbada.

---

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar y comparar la biomasa microbiana y el carbono orgánico del suelo en un área de bosque templado conservado y perturbado, en la estación de lluvias y de secas en el Bosque del Parque de Huixteco de Taxco Guerrero.

### 5.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Estimar la biomasa en forma de hojarasca aportada en dos sitios de bosque uno conservado y otro perturbado del cerro del Huixteco de Taxco Guerrero en las estaciones de secas y lluvias.
- Estimar el carbono orgánico del suelo (COS) y la biomasa microbiana del suelo en los sitios de bosque conservado y perturbado en dos estaciones del año (secas y lluvias).
- Evaluar algunas propiedades físicas, químicas relacionadas con la actividad microbiana del suelo en dos sitios de bosque conservado y en perturbado en las estaciones de secas y lluvias.

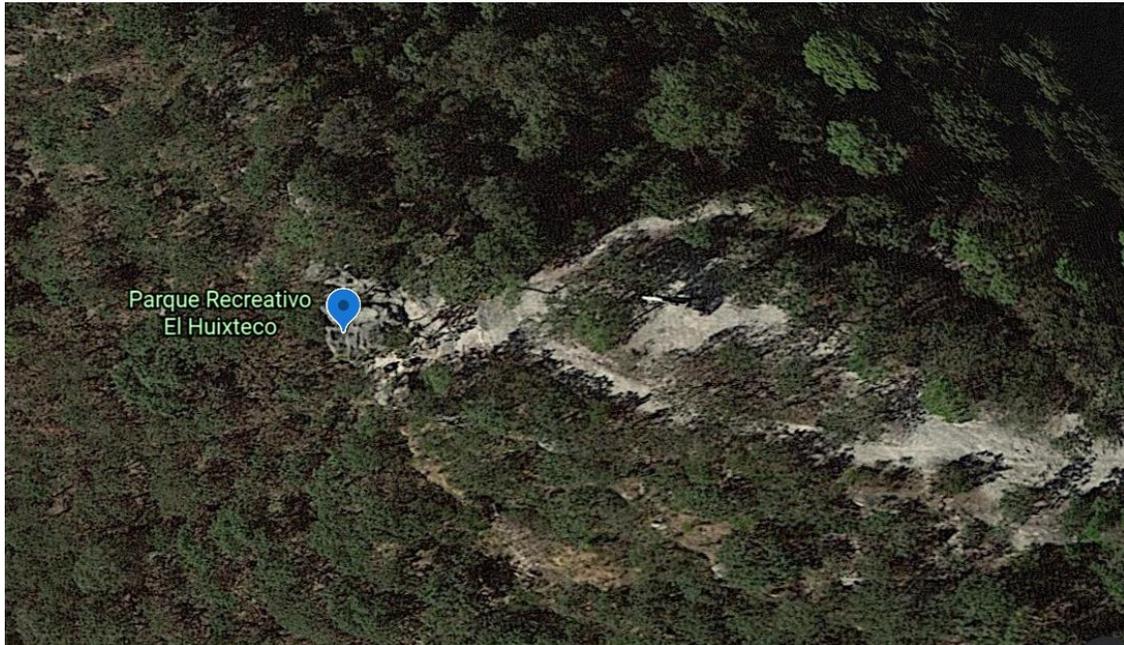
## 6. MÉTODOS

### 6.1. SITIO DE ESTUDIO

Taxco, Guerrero está ubicado entre los paralelos 18° 21' y 18° 41' de latitud norte; los meridianos 99° 25' y 99° 47' de longitud oeste; altitud entre 700 y 2 600 m. Ocupa el 1.02% de la superficie del estado, clima templado subhúmedo con

lluvias C (w1) en verano, la mayor humedad es de 26.42% (Figura 6; INEGI, 2009).

El cerro del Huixteco, se ubica en la Sierra de Huatla, a una altura aproximada sobre el nivel del mar de 2300 m, esta región de Guerrero destaca por su importancia y riqueza biológica, tanto en las cañadas como en la serranía (INEGI, 2009).



**Figura 6.** Zona de Estudio de Parque Recreativo El Huixteco

Actualmente, una parte del cerro está declarado como "Parque Recreativo El Huixteco", y es frecuentemente visitado por los pobladores de la ciudad de Taxco, generando perturbación en algunas áreas de uso intenso, lo que se refleja en la pérdida de la cubierta vegetal, dejando denudadas grandes áreas de suelo.

## **6.2. RECOLECTA DE MUESTRAS DE CAMPO.**

A) Establecimiento de parcelas

---

El trabajo de campo se realizó en las estaciones de secas y de lluvias, el sitio estudiado se ubica en el Parque Nacional del Huixteco. La condición de zona conservada y perturbada se definió con base en la cobertura vegetal del suelo. En cada sitio se establecieron cinco parcelas de 20 × 20 m (400 m<sup>2</sup>) dando un total de 2000 m<sup>2</sup>. En cada parcela de 20 × 20 m se tomaron tres puntos de forma diagonal con cuadrantes de madera de 25 × 25 cm con un total de 15 muestras en cada zona y estación, obteniendo 60 muestras en total. Con un termómetro se tomó la temperatura del suelo en cada uno de los tres puntos de cada uno de los cuadrantes (Figura 7).



**Figura 7.** Cuadrante de 25×25 cm

#### **-Toma de muestra de hojarasca.**

Con ayuda de una pala de jardinero se obtuvo toda la hojarasca del cuadrante y se colocó en bolsas de plástico con sus etiquetas correspondientes. Las muestras de hojarasca se conservaron en bolsas de plástico hasta pesarlas en fresco, inmediatamente después se pusieron en bolsas de papel.

#### **-Toma de muestras de suelo para densidad aparente.**

---

Para la obtención de muestras de densidad aparente al final se utilizaron cilindros de cobre que fueron enterradas con ayuda de un mazo, al retirarlas se sellaron en bolsas de plástico y con ligas en los extremos para conservar la estructura y la humedad, así fuero transportarlas al laboratorio para su posterior análisis, las muestras fueron etiquetadas adecuadamente.

Las muestras de densidad aparente se pesaron tal cual se colectan *in situ*, posteriormente se pusieron a secar a 105 °C por 48 horas donde después se volvieron a pesar en una balanza analítica hasta que el valor sea constante, con ello se obtuvo los porcentajes de humedad del suelo al momento de la colecta, para esto se requirió el volumen de cada tubo con la fórmula del cilindro.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

#### **-Toma de muestras de suelo para actividad microbiana**

La muestra de la capa superior del suelo fue extraída aproximadamente de 0 a 10 cm de profundidad, se tomaron aproximadamente 250 g de suelo, estas muestras se etiquetaron y fueron transportadas en frío (hielera), se dejaron en refrigeración hasta el momento de su análisis, que fue en el lapso de la semana posterior.

#### **-Toma de muestras para análisis físico y químico del suelo**

En cada parcela de 20 × 20 cm y con ayuda de una pala se recolectaron muestras de suelo de 0 a 20 cm de profundidad, 500 g aproximadamente, se pusieron en bolsas de plástico ziploc® con sus respectivas etiquetas, esto se hizo en la estación de secas y lluvias.

---

### 6.3. TRABAJO DE LABORATORIO

#### a) Biomasa seca de hojarasca

Las muestras de hojarasca se pesaron en fresco, luego se puso a secar en la estufa a una temperatura de 60 °C de 24 a 48 horas hasta tener un peso constante, se vuelve a tomar el peso seco.

#### b) Suelo – Biomasa microbiana.

La biomasa microbiana evaluó por medio de CO<sub>2</sub> capturado y titulado a partir del método de fumigación e incubación del suelo, este método se basa en esterilizar el suelo con cloroformo y después se re- inocula con una pequeña dosis de suelo fresco, los organismos muertos son junto con la materia orgánica un sustrato carbonado que es metabolizado por los microorganismos aerobios vivos contenidos en el gramo del suelo inoculado (Powlson *et al.*, 1987; Shan –Min *et al.*, 1987).

Este método consiste en:

- Pesar el suelo fresco la humedad que presenta en campo, tamizar con una malla de 2 mm de abertura para eliminar restos orgánicos.
- Separar la muestra en dos fracciones, 1) suelo para fumigar y 2) suelo natural pesando 20 g para cada fracción y colocarla en frascos de tapa térmica.
- A la fracción 1, se le adiciona 5 mL de cloroformo y 2,5 mL de agua esterilizada se cierran y se mantiene así por 48 h. Terminada la fumigación se abren los frascos y se colocan a baño maría a 40°C hasta que el

---

cloroformo se elimine. Ambos suelos (fumigado y natural) se re-inocula con 1 g de suelo natural.

- A las dos fracciones se le agrega la cantidad necesaria de agua para llevar la muestra a capacidad de campo.
- Se introduce en cada frasco un tubo de ensaye que contenga 7 mL de KOH 0.5 N y una tira de papel filtro procurando que la longitud de esta sea ligeramente mayor al tubo.
- Colocar para corrección de la normalidad un blanco absoluto (frasco que contenga un tubo con solo 7 mL de KOH 0.5 N). Hacer esto por duplicado.
- Se cerraron los frascos y se incubó a 37°C en estufa, durante 15 días.
- Al término de la incubación sacaron los frascos de la estufa. Se saca el tubo de ensayo y transfiere todo su contenido en un matraz Erlenmeyer de 50 mL. Enjuagar el tubo en 1 mL de agua libre de CO<sub>2</sub>
- Se colocaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador y se procedió a titular con HCL 0.5 N. Se Incluyó un blanco de titulación.

## Cálculos

- Calcular los miliequivalentes de KOH en el blanco y en las muestras problema.

$$\text{Normalidad del ácido} \times \text{mL gastados en la titulación} = \text{meq KOH}$$

- Obtener los miliequivalentes de KOH transformados en K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

$$\text{meq blanco} - \text{meq muestra} = \text{meq K}_2\text{CO}_3$$

- Igualar unidades a equivalentes químicos

$$\frac{\text{meq K}_2\text{CO}_3}{1000} = \text{eq K}_2\text{CO}_3$$

- A partir de esto, obtener gramos de  $K_2CO_3$  formados

$$(eq\ K_2CO_3) \times \left( \frac{PM\ K_2CO_3}{\#H\ sust} \right) = g\ de\ K_2CO_3$$

- Por estequiometria se obtienen los miligramos de  $CO_2$

$$\frac{g\ de\ K_2CO_3 \times PM\ CO_2}{PM\ K_2CO_3} \times 1000 = mg\ CO_2$$

- Para obtener el peso del carbono en la biomasa microbiana (CBM) se emplea la ecuación

$$\frac{mg\ CO_2\ suelo\ fumigado - mg\ CO_2\ suelo\ natural}{0.45} = mg\ CBM$$

- Índice de Eficiencia Microbiana =  $mg\ CO_2 / mg\ CBM$
- Cociente metabólico  $qCO_2 = CBM / COS$

### c) Análisis de suelos

Las muestras de suelo para el análisis de las propiedades físicas y químicas se secaron al aire, y se tamizaron con una malla de 2 mm. Los métodos empleados para estas determinaciones fueron las recomendadas por la Norma Oficial Mexicana (NOM -021- SERMANAT-2000, véase Figura 8 y cuadro 2)



**Figura 8.** Parámetros determinados e el laboratorio de izquierda a derecha biomasa microbiana, pH, densidad aparente y real, materia orgánica y fosforo

**Cuadro 2.** Técnicas utilizadas para evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo.

PROPIEDAD	MÉTODO SUGERIDO POR LA NOM-021-SEMARNAT-2000	
Densidad aparente	AS-03	Cilíndro (USDA, 1999)
Densidad real	AS-04	Picnómetro
Espacio poroso	--	$1 - (DA/DR) \times 100$
Humedad	AS-05	Gravimétrico
Carbono orgánico	--	% de Materia orgánica x 58/100
Materia Orgánica	AS-07	Digestión húmeda Walker y Black (1934)
Fosforo disponible	AS-11	Fósforo extraíble Bray y Kurtz (1945)
Carbono de biomasa microbiana	--	Fumigación incubación y medición estequiometria de CO <sub>2</sub> (Powlson <i>et al.</i> , 1987; Shan –Min <i>et al.</i> , 1987), modificado por Granados, 2003.
pH	AS-02	
Nitrógeno Total	AS-08	Potenciómetro (Jackson 1964)
Relación C:N	--	Digestión y titulación semimicro-Kjeldhal % de Carbono orgánico/ % de Nitrógeno

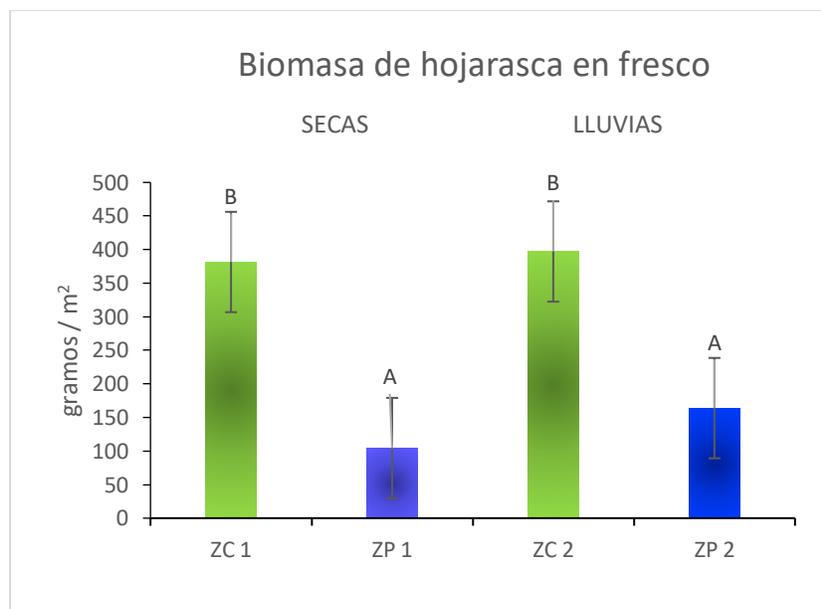
#### 6.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó una prueba de normalidad a los datos obtenidos de todas las variables evaluadas, cuando los datos cumplieron con la normalidad, se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar las diferencias significativas entre variables, se compararon las condiciones (perturbado vs conservado) y las estaciones de muestreo (lluvias vs secas). Cuando los resultados del ANDEVA mostraron diferencias se aplicó una prueba de Tukey, se utilizó el programa Infostat versión 2017 (electrónica). Todos los análisis se realizaron con un 95% de confianza.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

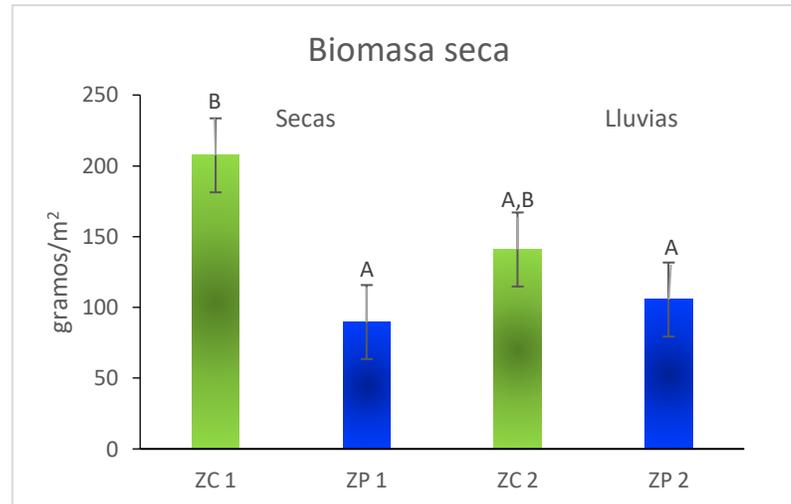
### 7.1. Biomasa fresca y seca de la hojarasca aportada

En la Figura 9 se muestran los valores promedio de la biomasa fresca (peso de la hojarasca en fresco) registrado en las dos zonas estudiadas (Conservada = ZC y Perturbada= ZP) con el número 1 se señala la estación de secas y con 2 la estación de lluvias). Los resultados fueron en ZC 1 = 381 g/m<sup>2</sup> y en ZP 1 = 104.4 g/m<sup>2</sup>, mientras que en la estación de lluvias las medias fueron de ZC 2 = 397.13 g/m<sup>2</sup> y ZP 2 = 163.9 g/m<sup>2</sup>, el análisis estadístico aplicado mostró que la biomasa fresca fue diferente significativamente entre las zonas conservada y perturbada ( $p \leq 0.0001$ ), aunque no hubo diferencias significativas entre las estaciones de secas y lluvias ( $p \geq 0.05$ ).



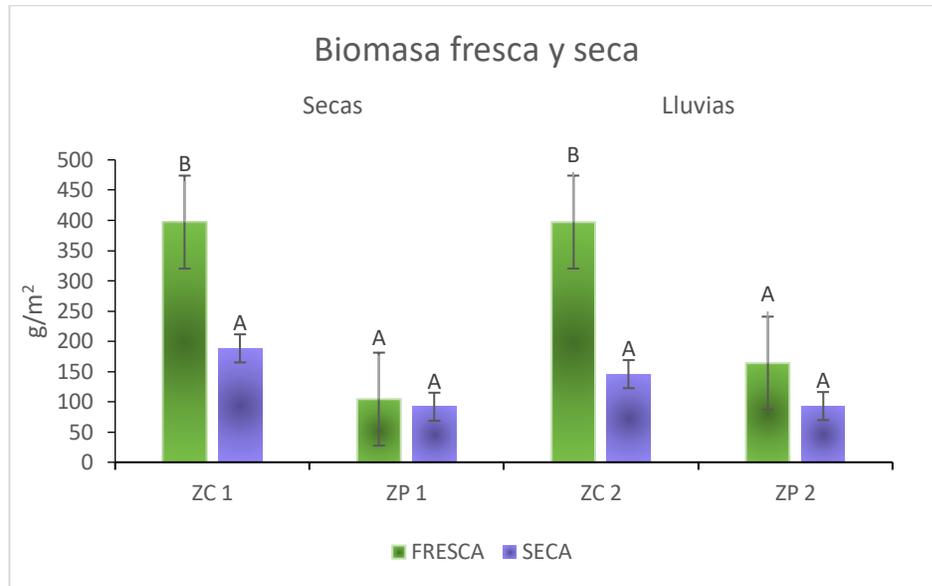
**Figura 9.** Biomasa fresca en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

En biomasa seca (hojarazca seca) en la estación de secas fue de 207.4 g/m<sup>2</sup> en ZC 1 y de 89.6 g/m<sup>2</sup> en ZP 1. En la estación de lluvias se registraron medias de 140.87/m<sup>2</sup> en ZC 2 y de 105.53 g/m<sup>2</sup> en ZP 2. El análisis estadístico mostró diferencias estadísticas con ( $p \leq 0.0005$ ) entre las condiciones de conservado y perturbado en la estación de secas, pero no en la estación de lluvias (Figura 10).



**Figura 10.** Biomasa seca en la zona conservada y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas

En la Figura 11 se muestra el análisis conjunto de la biomasa fresca y seca en las estaciones de secas y lluvias, el análisis estadístico mostró que la biomasa fresca de la condición conservada fue significativamente diferente de la condición perturbada, en el caso de la biomasa seca no existieron diferencias ni por sitio (conservado vs perturbado) ni por estación (secas vs. lluvias). La biomasa fresca fue dos veces mayor que la biomasa seca en la zona conservada en secas y lluvias, no así en la zona perturbada, donde la diferencia fue mínima y no se refleja en diferencias estadísticas ni entre condiciones ni estaciones con una ( $p > 0.05$ ).



**Figura 11.** Biomasa fresca y seca de la hojarasca en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas

En este trabajo los resultados mostraron diferencias en biomasa fresca y seca entre condiciones, pero no entre estaciones; la máxima acumulación de hojarasca ocurrió en la zona conservada. Barreto (2018) menciona que la acumulación de hojarasca en las zonas de perturbación natural está ligada a los disturbios forestales en los ecosistemas terrestres; en el caso del parque recreativo del Huixteco, la perturbación de las áreas del bosque se deben al uso recreativo que los visitantes realizan como ciclismo de montaña y fogatas, lo que ha provocado que se pierda la cubierta vegetal principalmente del sotobosque y esta puede ser la principal causa que provoco la falta de acumulación de hojarasca en el sitio perturbado.

Asimismo, Rocha y Ramírez (2015) reportan que la caída de hojarasca estuvo caracterizada principalmente por tasas bajas en la estación de lluvias y tasas altas

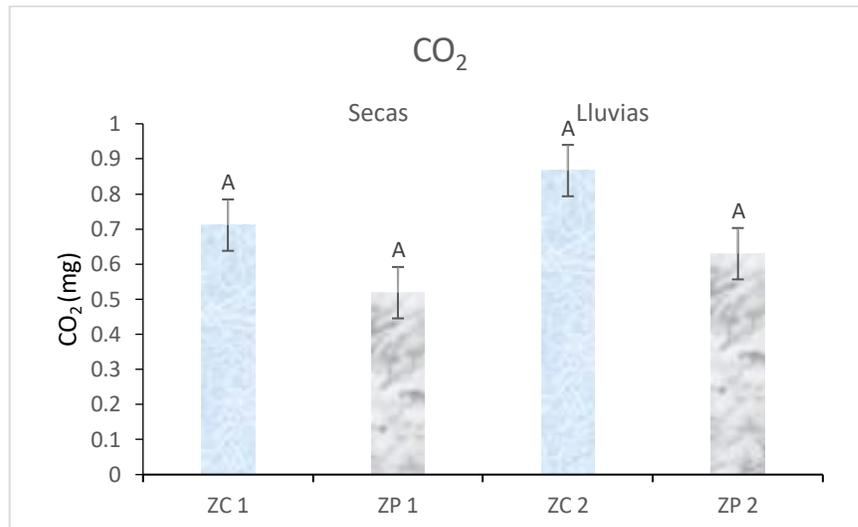
---

en secas. Este comportamiento es considerado común en los bosques tropicales secos por los pronunciados cambios estacionales en la lluvia, en el caso del Huixteco, aunque el tipo de vegetación corresponde a un bosque templado, los cuales en general no son marcadamente estacionales, el Huixteco está ubicado en latitud baja para los bosques templados (18° 41'LN) y a altitud de 2400 m por lo que presenta estación de lluvias, secas y fría marcadas, las cuales se reflejan fuertemente en los ciclos de las especies arbustivas y herbáceas del sotobosque, mismas que suelen secarse en la estación de secas y en la estación de lluvias suelen estar muy activo su crecimiento, por lo que el aporte de biomasa en forma de hojarasca es estacional, sin embargo, en este trabajo no hubo diferencias debidas a la estacionalidad, solo se detctaron diferencias debidas a la condición (conservado vs perturbado) señalando que la estacionalidad no afecta el aporte de materia orgánica al suelo, aunque la composición puede ser diferente, en este caso no se evaluó este aspecto, lo cual puede ser importante porque la acumulación y tipo de la hojarasca es el primer eslabón que va a disparar la actividad microbiana y la cantidad de MOS almacenada en el suelo.

## **7.2. Biomasa microbiana**

La biomasa microbiana se evaluó mediante tres variables una de ellas la concentración de dióxido de carbono resultado de la respiración de los microorganismos aerobios presentes en el suelo. En la Figura 12 se presentan los valores promedio obtenidos del dióxido de carbono en donde se observa que en la estación de secas la media de la condición ZC 1 fue de 0.71 mg/m<sup>2</sup>, en la condición ZP 1 fue de 0.51 mg/m<sup>2</sup> y en la estación de lluvias la media fue de 0.86

mg/m<sup>2</sup> en la ZC 2 y de 0.62 mg/m<sup>2</sup> en la ZP 2 no existieron diferencias estadísticas entre condiciones ni entre estaciones ( $p \geq 0.05$ )



**Figura 12.** Concentraciones de dióxido de carbono en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Es de observar que en los resultados del análisis de CO<sub>2</sub> no hubo diferencias estadísticas; estos resultados coinciden con lo expresado por autores como Álzate y Ramírez (2014) quienes en su trabajo: actividad microbiana de suelos con manejo orgánico y convencional, encontraron cantidades similares de CO<sub>2</sub> indicando que estos valores no varían entre si porque los factores del clima no suelen afectar a los suelos a esta profundidad, resaltando la capacidad de resiliencia de los suelos, en este caso podría indicar una condición similar, el clima no varía y posiblemente la resiliencia del suelo es tal que no existen diferencias significativas, a pesar de que los valores absolutos muestren una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en las zonas conservadas que en la perturbada, estas diferencias pueden aumentar con el paso del tiempo y coincidir con lo que Raiesi y Asadi

---

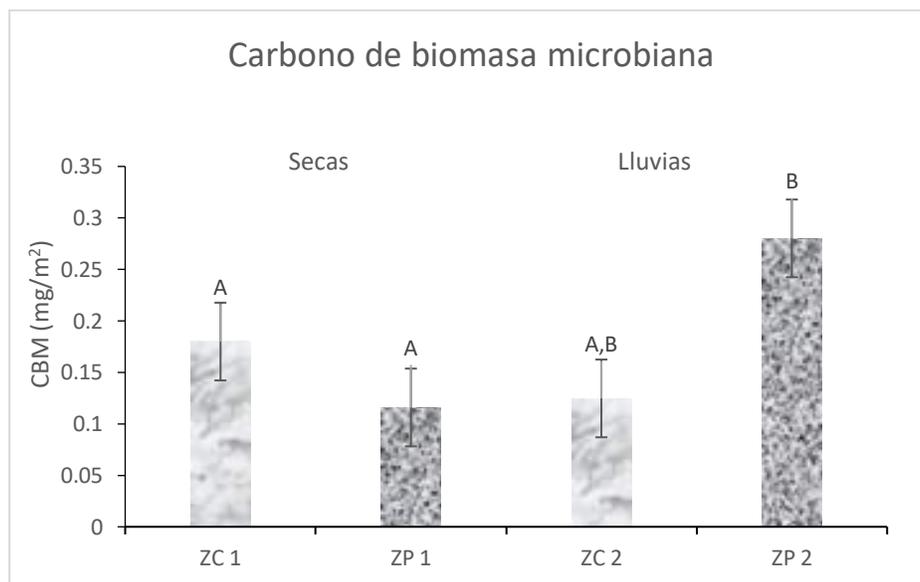
(2006) quienes mencionan que el grado de deterioro provoca la disminución de la respiración microbiana en el suelo, también puede ser que se requiera un tamaño de muestras mayor para reducir la varianza de los datos y confirmar la no existencia de diferencias estadísticas.

Asimismo, Gamboa y Galicia (2011), mencionan resultados de CO<sub>2</sub> en un bosque templado que van de 0.2 a 0.4 mg en la temporada de lluvias y 0.04 a 0.14 mg en la temporada de secas, los rangos de estos datos concuerdan con los resultados aquí obtenidos, la mayor cantidad de respiración en lluvias que en secas, mostró el efecto positivo de la humedad en la actividad microbiana. Cabe señalar las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la respiración microbiana es una variable muy dinámica que pueden cambiar con el paso del tiempo y con el tipo de aprovechamiento de los suelos. Se reportan valores de CO<sub>2</sub> significativamente mayores en un bosque con un año de aprovechamiento agrícola que en otro con 10 años de descanso, es decir con perturbación temprana, después el suelo puede alcanzar otro equilibrio, a los diez años el suelo ya manifiesta el efecto de su resiliencia (Luan, 2012).

Gómez-Romero (2012) menciona que los cambios de uso del suelo, temperatura, humedad y la cubierta vegetal influye en el flujo de CO<sub>2</sub> en el suelo, pueden influir negativamente disminuyendo la concentración de las fracciones orgánicas lábiles de la materia orgánica y de la biomasa microbiana, y aumentando en el secuestro de carbono en las formas recalcitrantes de la materia orgánica. Finalmente, los flujos de CO<sub>2</sub> están regulados por las actividades antrópicas, en el caso del Huixteco, la perturbación mas evidente es

la erosión del suelo por la falta de cobertura vegetal, pero la microtopografía accidentada que presenta el sitio permite que la hojarasca se acumule en pequeños resquicios del suelo, ayudando a la resiliencia del suelo.

Otra variable de la actividad microbiana fue el carbono de biomasa microbiana (CBM), en este trabajo se obtuvieron medias de 0.18 mg/m<sup>2</sup> en ZC 1 y 0.12 mg/m<sup>2</sup> en ZP 1 en la estación de secas mientras que en lluvias fueron medias de 0.12 mg/m<sup>2</sup> en ZC 2 y en 0.28 mg/m<sup>2</sup> en la ZP 2, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre condiciones en la estación de secas; mientras que en la estación de lluvias se encontró diferencias entre zonas; la condición ZP 2 presentó la mayor cantidad de CBM la diferencia estadística fue significativa con una  $p \leq 0.05$  (Figura 13)



**Figura13.** Carbono de biomasa microbiana en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

De acuerdo a los resultados no hubo diferencias entre condiciones en la estación de secas, sin embargo, se puede observar un valor ligeramente más alto

---

en el suelo de la zona conservada que en la perturbada, estos datos se comportan de manera similar a los de Luna-Suárez (1998) quien reporto mayor cantidad de CBM en suelos conservados que perturbados. Mientras que en lluvias hubo mayor cantidad de CBM en la zona perturbada que en la conservada, ello sugiere que el deterioro juega un papel importante en la actividad microbiana, en los bosques templados un primer efecto de la perturbación es el aumento de la temperatura, lo cual favorece la actividad microbiana, asumiendo que la hojarasca acumulada en la zona perturbada es más lábil (menos acículas de pino y más hojas de encino, observación personal) aunado a que en este caso la mayor temperatura del suelo (21 °C) ocurrió en la zona perturbada pudo favorecer y explicar la mayor cantidad de CBM en el suelo perturbado. Quíton (2010) menciona una correlación negativa en la estación de secas y positiva con la temperatura del suelo indicando que a menos temperatura en la estación de lluvias se encontraron elevados contenidos de CBM, este autor sugiere que se debe fundamentalmente a que las actividades microbianas son gobernadas por las leyes de la termodinámica, lo que indica que los cambios en la temperatura del suelo tienen marcada influencia sobre la actividad microbiana.

Los climas de bosque templado son calientes y húmedos en verano, lo que promueve mayor abundancia de biomasa microbiana. Pardo-Plaza (2019) menciona que las altas temperaturas provocan en el suelo un aumento en la biomasa microbiana debido al disturbio, en este caso en la zona conservada también se puede atribuir a la fácil adaptación de los microorganismos del suelo a cambios ambientales.

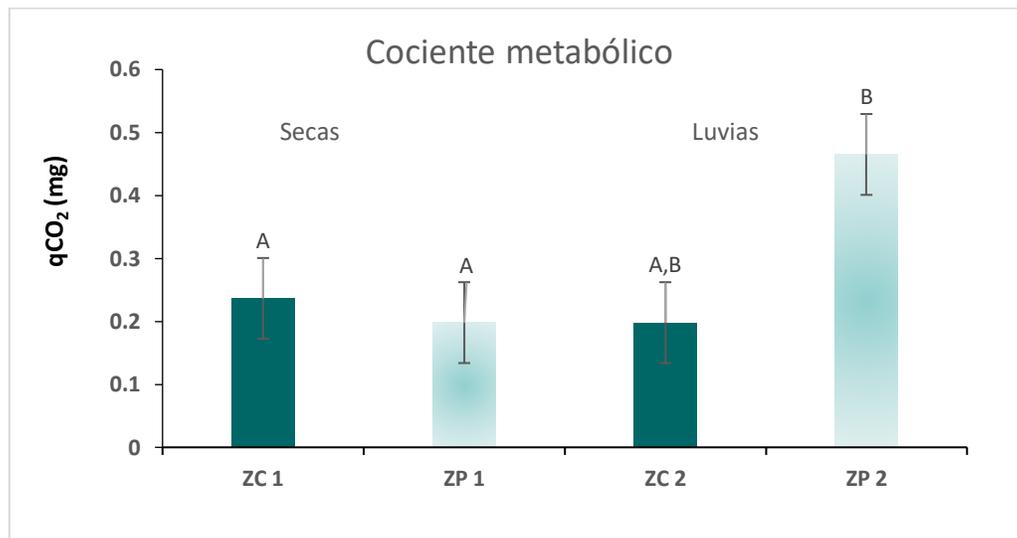
---

En el Huixteco, en la estación de lluvias debido al incremento en la temperatura, al aporte de hojarasca y también a la precipitación en el mes de Agosto pudo favorecer el crecimiento bacteriano en general y mayormente en los suelos denudados de la zona perturbada. También puede ocurrir que ya exista una diferencia entre la composición de los microorganismos aerobios de la zona conservada y perturbada, sin embargo, con las técnicas empleadas no es posible detectar estos cambios, pero estos resultados si pueden ser un indicio de que los cambios están ocurriendo, de manera similar a lo mencionado por Ramos y Zúñiga (2008).

Los resultados de esta investigación concuerdan con el trabajo de Aguilar (2018), quien menciona que la relación positiva de la biomasa microbiana juega un papel fundamental en la recuperación del suelo, después de sufrir un disturbio contribuyendo a la formación de agregados estables, pues suelen presentarse incrementos iniciales, probablemente debidos a la solubilización de compuestos orgánicos. De esta forma, es probable que la perturbación haya incidido de forma diferente en el suelo en lluvias, modificando características físicas, químicas, edáficas y biológicas lo cual pudo conllevar a diferentes comportamientos de las bacterias de cada uno de estos suelos. Estos resultados revelan que la respiración del suelo en la zona perturbada en secas es una variable poco sensible a la humedad y a temperaturas altas, pero se vuelve más sensible a bajas temperaturas cuando el agua no es un factor limitante.

En la gráfica de la Figura 14 se muestra el coeficiente metabólico, los valores de  $qCO_2$  obtenidos están en el rango de 0.198 a 0.236 los cuales concuerdan con

los valores bajos obtenidos por Núñez *et al.*, (2003) quienes sugieren que este tipo de valores corresponden a ecosistemas maduros y estables.



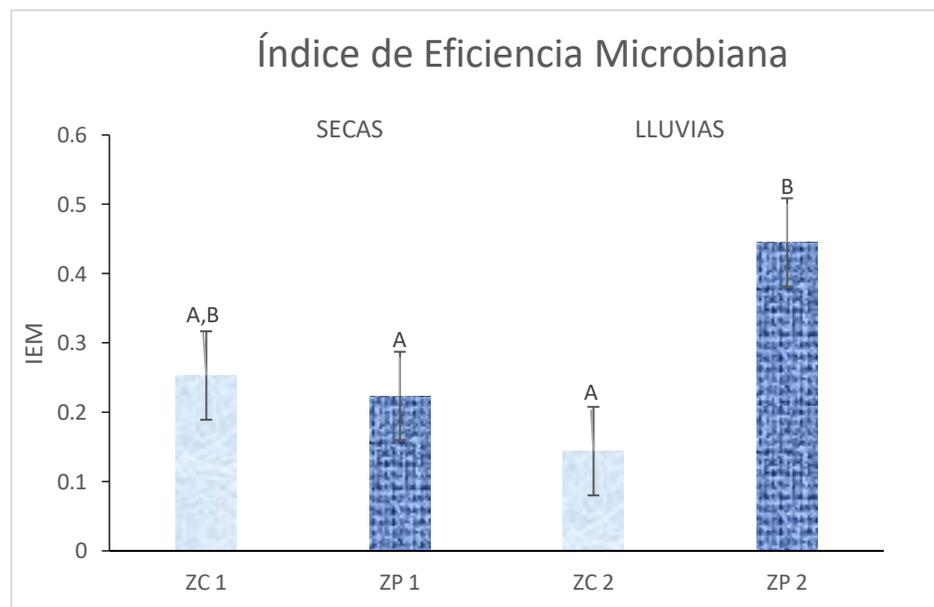
**Figura 14.** Cociente metabólico en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Entre mayor es la actividad microbiana la liberación de CO<sub>2</sub> será mayor y el CBM disminuiría lo que se puede atribuir a un mayor metabolismo por parte de los microorganismos que influyen en la oxidación de compuestos de carbono. Sugiriendo que el CO<sub>2</sub> y el CBM son inversamente proporcionales lo que se puede atribuir a la mayor respiración de los microorganismos aerobios que oxidan los compuestos de carbono.

En este caso, donde hubo mayor producción de CO<sub>2</sub> fue en la zona conservada, en la estación de lluvias, resultados que con base al criterio del cociente metabólico, corresponden a una menor cantidad de CBM, esto se puede atribuir a una mayor tasa metabólica por parte de los microorganismos que influyen en la oxidación de compuestos de carbono. En los suelos en la condición de perturbación la cantidad de CO<sub>2</sub> registrada fue menor en

comparación con los sitios con mayor cobertura vegetal (zona conservada). Por otra parte, Barreto (2018) encuentra que los disturbios pueden reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> después de que se reduce la cantidad de materia orgánica del suelo y el sustrato de carbono para los microorganismos del suelo (Gómez-Luna *et al.*, 2009).

En la Figura 15 se presenta el índice de eficiencia microbiana (IEM) esta fue la tercera variable de la actividad microbiana, en esta variable se obtuvieron medias en la estación de secas de 0.24 mg/m<sup>2</sup> en ZC 1 y en ZP 1 de 0.20 mg/m<sup>2</sup>. En la estación de lluvias se encontraron medias de ZC 2 de 0.20 mg/m<sup>2</sup> y ZP 2 de 0.47 mg/m<sup>2</sup> este último valor fue diferente estadísticamente de los valores restantes con el análisis estadístico ANDEVA y una ( $p \leq 0.05$ ), esta diferencia refleja mayor eficiencia microbiana en la zona perturbada en la estación de lluvias



**Figura 15.** Índice de eficiencia microbiana en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

---

El índice de eficiencia microbiana en la estación de secas mostró valores similares entre las dos condiciones que de acuerdo a Iglesias (2008) corresponde a un menor contenido de humedad del suelo, lo que limitará la actividad microbiana. Los resultados de esta investigación en estación de secas concuerdan con los reportados por Beltra (2017), quien menciona que en suelos perturbados las poblaciones microbianas pueden disminuir considerablemente en relación a un relicto de bosque conservado, los disturbios del suelo a corto plazo pueden ser graves resultando en la alteración de las propiedades del suelo y la estructura de comunidades vegetales.

Es de destacar que en lluvias se obtuvo un comportamiento diferente de todos los resultados obtenidos, se tuvo mayor IEM en la ZP, datos parecidos son reportados por Miralles *et al.* (2007) quienes mencionan que el IEM experimenta un incremento significativo por el crecimiento de los microorganismos presentes sin ser afectados por el disturbios, bien porque sobrevivieron o porque están mejor adaptados, lo cual puede ocurrir rápidamente en los microorganismos del suelo.

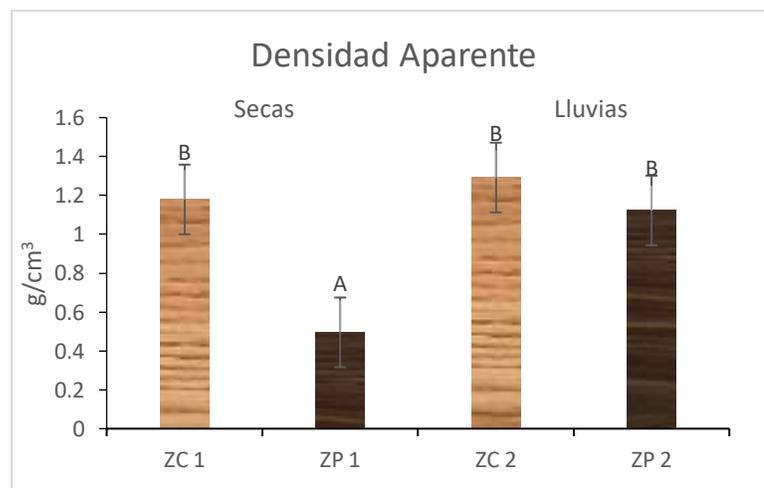
Iglesias (2008) menciona que después de un disturbio forestal hay un ligero aumento de microorganismos los suelos afectados por las altas temperaturas vuelven a recuperar sus propiedades iniciales y su funcionalidad natural. Sin embargo, Torres *et al.* (2006). en su Investigación en ecosistemas de bosques, en donde evaluaron la biomasa microbiana después de un incendio, observaron un aumento inicial y después una disminución de la actividad microbiana, estos cambios en la biomasa microbiana y sus variables ocurren de una manera

rápida, por lo que pueden constituir una señal temprana para estimar la calidad edáfica, ya que muestran cambios mucho antes que las propiedades físicas y químicas del suelo cambien.

### 7.3. Propiedades físicas y químicas del suelo

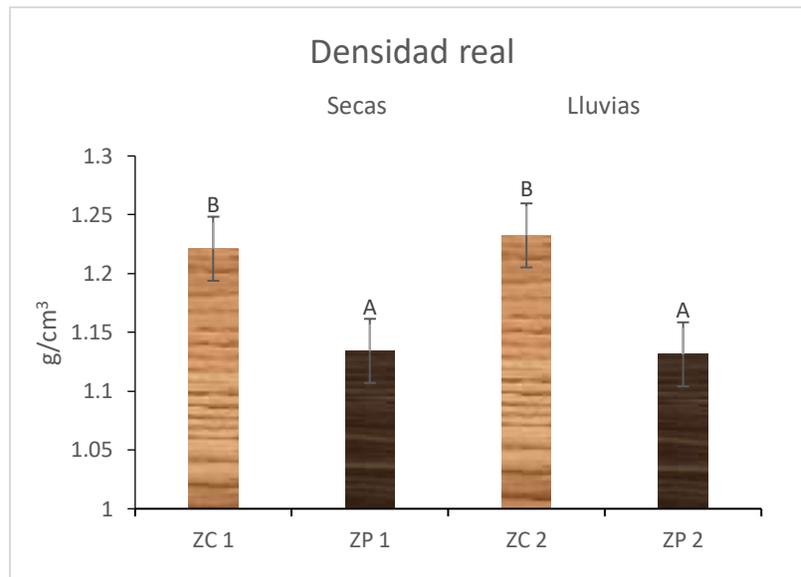
#### 7.3.1. Densidad aparente, densidad real y espacio poroso

En la Figura 16 se presenta la densidad aparente del suelo, en la estación de secas las medias fueron de 1.18 g/cm<sup>3</sup> en la ZC 1 y de 0.46 g/cm<sup>3</sup> en ZP 1 mientras que en la estación de lluvias se registraron medias de 1.29 g/cm<sup>3</sup> en la ZC 2 y 1.12 g/cm<sup>3</sup> en la ZP 2. De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2002 la densidad aparente corresponde a suelos arcillosos en la estación de secas y a francos en la estación de lluvias. El análisis estadístico mostró diferencia estadística significativa en la DA del suelo solo para la condición ZP 1 con el menor valor ( $p \leq 0.01$ ).



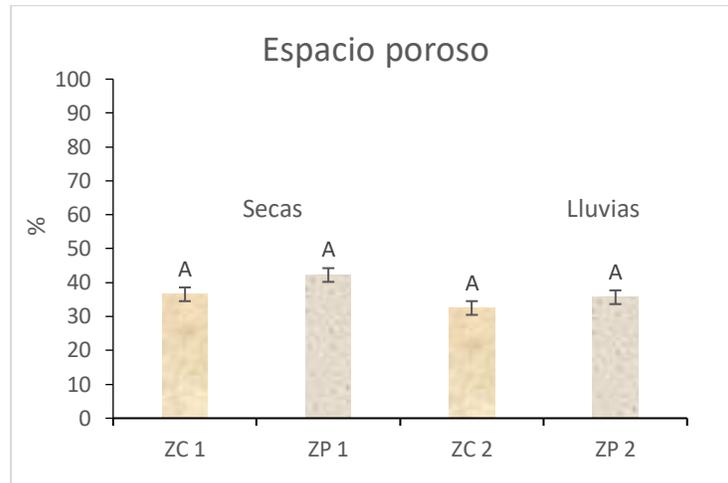
**Figura 16.** Densidad aparente en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

En la Figura 17 se observan los valores de la densidad real del suelo (DR). El valor de la media en la estación de secas fue de 1.22 g/cm<sup>3</sup> ZC 1 y de 1.13 g/cm<sup>3</sup> en ZP 1 mientras que en la estación de lluvias fue de 1.23 g/cm<sup>3</sup> en ZC 2 y 1.13 g/cm<sup>3</sup> en ZP 2. Estos datos se sometieron al análisis estadístico de varianza, el resultado mostró diferencias significativas entre condiciones ( $P \leq 0.01$ ), pero no entre estaciones de secas y lluvias. En general estos valores corresponden a suelos con capas orgánicas (suelos orgánicos).



**Figura17.** Densidad real zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Los valores promedio del porcentaje de espacio poroso del suelo fueron de 36.55 % en la ZC 1 y de 44.32 en ZP 1 en la estación de secas. En la estación de lluvias fueron de 32.50 % en ZC 2 y 35.68 % en la ZP 2. No existieron diferencias estadísticas significativas entre zonas ni entre estaciones ( $p \geq 0.05$ , Figura 18).



**Figura18.** Porcentaje de espacio poros zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Los datos de densidad aparente (DA), densidad real (DR) y % de espacio poroso (%EP), están directamente relacionadas entre ellas y se afectan mutuamente, por ello los resultados obtenidos en este trabajo se discuten conjuntamente, así se observa que la D.A en general fue baja, pero en ZP 1 el valor de DA fue muy bajo, aunque coinciden con los valores reportados por Ramírez (2008) quien refiere rangos de 0.4 a 1.2 g cm<sup>3</sup> en un estudio de calidad de suelo en bosques templados. Arango-Galvan (2009) menciona que valores de DA menores de 1.0 cm<sup>3</sup> corresponden a suelos de bosque fragmentado esto porque están sujetos a otros procesos como el recambio de materiales que se pierden por la erosión y que pueden causar compactación en el suelo. Según Sponseller (2007), los suelos arcillosos presentan una densidad aparente de entre 1.0 y 1.2 g/cm<sup>3</sup>, y a medida que los suelos se compactan disminuye la porosidad y aumentan los valores de la densidad aparente.

---

En la temporada de lluvias en la zona perturbada aumento la DA, todos los valores fueron mayores de 1.0 esto probablemente se debió a que en lluvias aumenta la materia orgánica y ello aumenta el espacio poroso, Alcántara (2009) menciona que el tipo de vegetación y en particular el estrato herbáceo o arbóreo contribuyen a elevar los valores de densidad aparente del suelo.

La densidad aparente también es afectada por la profundidad y la materia orgánica del suelo, Marín (2017) menciona que la DA varía de acuerdo al estado de agregación del suelo, al contenido de agua y la proporción del volumen ocupado por los espacios intersticiales los que existen incluso en suelos compactos.

La densidad real (DR) del suelo mostro diferencias estadísticas entre condiciones, la DR fue mayor en los suelos conservados, aunque en general son valores bajos debido a que los suelos de los bosques templados en particular en los 20 cm superficiales son considerados como suelos orgánicos por la gran cantidad de materia orgánica en diferentes grados de descomposición que alberga.

En el % EP no se encontraron diferencias estadísticas ni entre condiciones ni entre estaciones, los valores de espacio poroso son bastante estables entre 30 y 40 %. Castillo (2005) menciona que en los bosque templados el espacio poroso tiene una media de 45 %, debido a que en éstos suelos existe actividad biológica (raíces, lombrices de tierra y termitas); puede que aquí exista un mayor equilibrio entre los poros finos y medios. Marín (2017) menciona que los suelos con porosidades menores a 50% presentan una mala aireación y el drenaje está

---

catalogado entre moderado a regular, el mismo autor considera que en un bosque nativo suele presentar una porosidad mayor del 50% lo que permite un drenaje mayor, los suelos del Huixteco presentan valores de EP por debajo del 50% por lo que pudiera presentar mal drenaje.

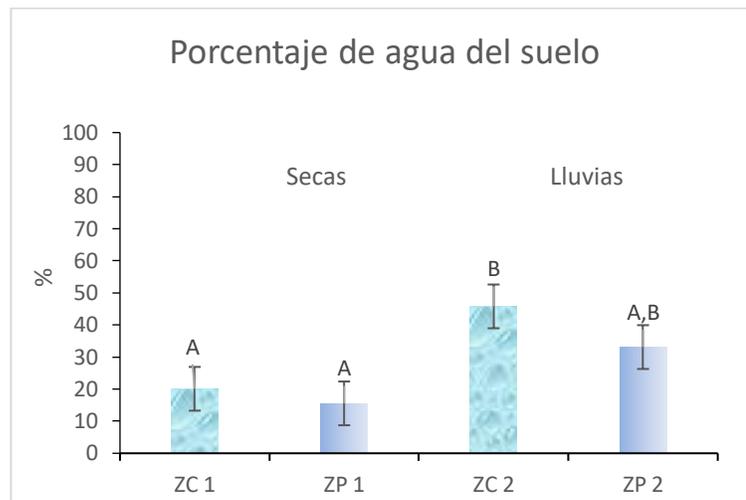
Los datos de esta investigación coinciden con lo reportado por Vega (2019) quien propone que a una menor densidad aparente corresponde un mayor espacio poroso, es decir la densidad aparente, es inversamente proporcional al espacio poroso, esto también está relacionado con la compactación del suelo, la que reduce la proporción de poros y que predominen los poros finos, lo cual dificulta la circulación del agua y del aire y la penetración de las raíces.

### 7.3.2. Humedad del suelo

La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base a la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica ( $w$ ) es la forma más básica de expresar la humedad del suelo. La humedad volumétrica, generalmente, se calcula como un porcentaje del volumen total del suelo, es más precisa dado que el volumen total del suelo no es una constante (Shi, 2011).

El porcentaje de agua del suelo mostró medias en la estación de secas de 20.10 % y 15.55 % en ZC 1 y ZP 1 mientras que en la estación de lluvias, se obtuvo 45.80% y 33.11 % en la ZC 2 y ZP 2. En la estación de lluvias se duplica la cantidad de agua retenida en el suelo. El análisis estadístico, no mostro diferencias entre condiciones en la estación de secas, aunque si hubo diferencias estadísticas entre estaciones

en la zona conservada ( $p \leq 0.05$ ). En la zona perturbada no se presentaron diferencias estadísticas entre temporadas ( $p \geq 0.05$ ) (Figura 19).

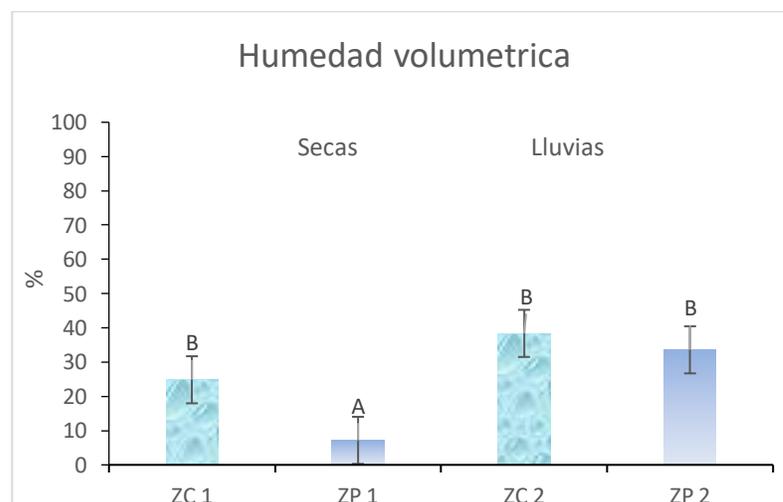


**Figura 19.** Porcentaje de contenido gravimétrico de agua en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2)el cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Los resultados obtenidos no muestran diferencias en la estación de secas, contrario a lo encontrado en la estación de lluvias donde se encontró diferencias entre condiciones el sitio conservado presento 10 % más humedad que el suelo del sitio perturbado, en ambas condiciones en la estación de lluvias el suelo presento el doble de agua que en la estación de secas, aunque siempre por debajo del 50 %, esto puede deberse a la baja porosidad del suelo y a la baja densidad del mismo, la DA sugiere un suelo arcilloso, capaz de retener agua, aunque hay que corroborarlo con la textura del suelo (propiedad que no se evaluó en este trabajo). Autores como Hush (2001) mencionan que la humedad varía por el tipo de suelo y por el impacto de las prácticas de manejo aplicadas en los ecosistemas.

Pérez (2006) menciona que el aumento de humedad del suelo, se suele apreciar en un mayor nivel de almacenamiento de carbono ya que la humedad determina la respiración presente en el suelo y por ende en la actividad biológica del suelo.

Cuando se reporta la humedad del suelo en términos del porcentaje de humedad volumétrica se obtuvieron medias de 24.83 % y 7.16% en las condiciones de ZC 1 y ZP 1 en la estación de secas y en la estación de lluvias las medias fueron de 38.37 % y 33.58 % ZC 2 y ZP 2. El análisis estadístico mostró diferencias entre estaciones en la zona perturbada en la estación de secas ( $p \leq 0.05$ ), en la estación de lluvias no mostro diferencias entre la condición conservada y perturbada. Los porcentajes de humedad no llegaron a 40 %. En la estación de secas la zona conservada contiene 3 veces más agua que la zona perturbada, mientras que en la estación de lluvias la diferencia entre condiciones fue de solo el 5 % (Figura 20).

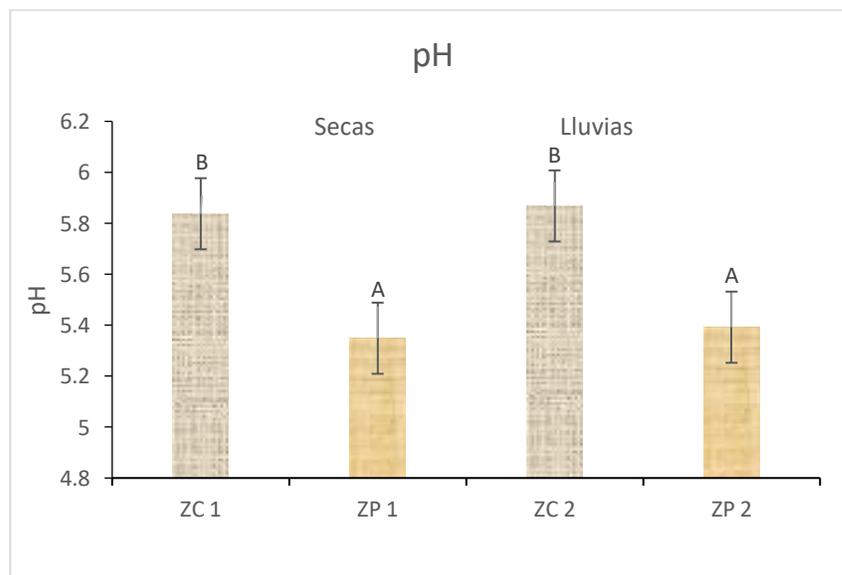


**Figura 20.** Humedad volumétrica en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

En este caso, a pesar que en general la humedad volumétrica es menor que la humedad gravimétrica, es posible que refleje mejor la condición natural del suelo del bosque del Parque El Huixteco. En este caso el registro de humedad volumétrica explica mejor la actividad microbiana del suelo, ya que favorece la mayor actividad microbiana en la estación de lluvias, pero no explica porque hay mayor actividad microbiana en la zona perturbada.

### 7.3.3. Acidez del suelo

En la Figura 21 se muestran las medias de pH del suelo. Los valores promedio obtenidos fueron de 5.85 y 5.35 en la ZC 1 y ZP 1 en la estación de secas y de 5.87 y de 5.39 en ZC 2 y ZP 2 en la estación de lluvias. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre condiciones ( $p \leq 0.0001$ ) pero no entre en las estaciones de secas y lluvias. De acuerdo a la NOM-021-SERMANAT-2000 el pH es moderadamente ácido en todas las condiciones.



**Figura 21.** pH de las temporadas en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

---

Los pH de suelos moderadamente ácidos en las dos estaciones coincide con los valores de reportado por Jiménez (2013), esto puede deberse al aporte de la materia orgánica, humedad y actividad microbiana lo que favorece la acidez del suelo, los pH ligeramente más altos en los suelos conservados pueden deberse a una mejor condición de suelo, en estos sitios la estructura del bosque está compuesta por árboles maduros, mayor vegetación arbustiva y herbácea haciendo que guarde más humedad y origina la entrada de grandes cantidades de materia orgánica. Vásquez (2005) menciona que el pH es una de las propiedades químicas más relevantes, que controla la disolución y precipitación de minerales, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.

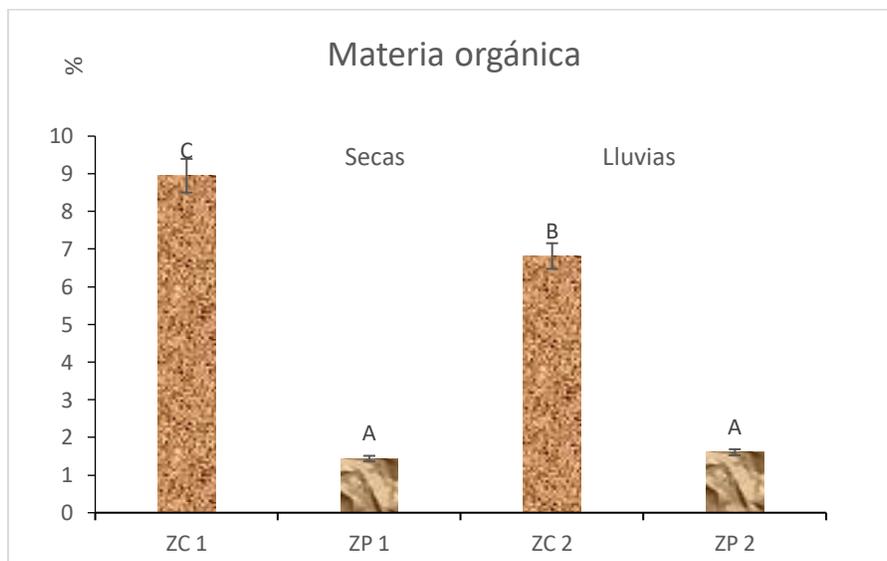
Los valores de pH obtenidos concuerdan con lo expresado por el autor Vélez (2013) quien encontró valores de pH entre 5.2 y 5.7 sugiriendo que esta acidez puede derivarse de rocas moderadamente acidas, además, estos rangos de pH sugieren que existe buena la disponibilidad de fósforo y nitrógeno. Otro factor que regula los valores de pH en estos suelos es la acumulación materia orgánica y de carbono orgánico del suelo.

El pH del suelo puede acidificarse también por la liberación de CO<sub>2</sub> de los microorganismos y raíces lo que favorece una elevada concentración de ácido carbónico, que es intercambiado con la atmosfera, ocasionando que el medio sea más ácido, lo que favorecerá mayor actividad biológica, principalmente por bacterias y con ello mayor solubilización de sustancias inorgánicas, aumentando la disponibilidad de nutrimentos como el fosforo en el suelo. De acuerdo con Velez (2013) los pH muy ácidos no destruyen la materia orgánica solo mantienen

protonados sus grupos funcionales favoreciendo la materia orgánica recalcitrante del suelo.

#### 7.3.4. Materia orgánica y carbono orgánico del suelo

En la figura 22 se presenta el porcentaje de materia orgánica del suelo (MOS), los valores obtenidos en la estación de secas fueron de 8.95 % en ZC 1 y de 1.44 % en ZP 1; mientras que en la estación de lluvias las medias fueron de 6.87% y 1.60 % en ZC 2 y ZP 2. De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2002 los suelos se clasifican en contenido muy alto de MOS en la zona conservada, mientras que en la zona perturbada los contenidos de MOS son bajos. El análisis estadístico mostró diferencias estadísticas entre condiciones, y entre estaciones para la zona conservada ( $p \leq 0.01$ ), no hubo diferencias significativas entre estaciones para la zona perturbada.

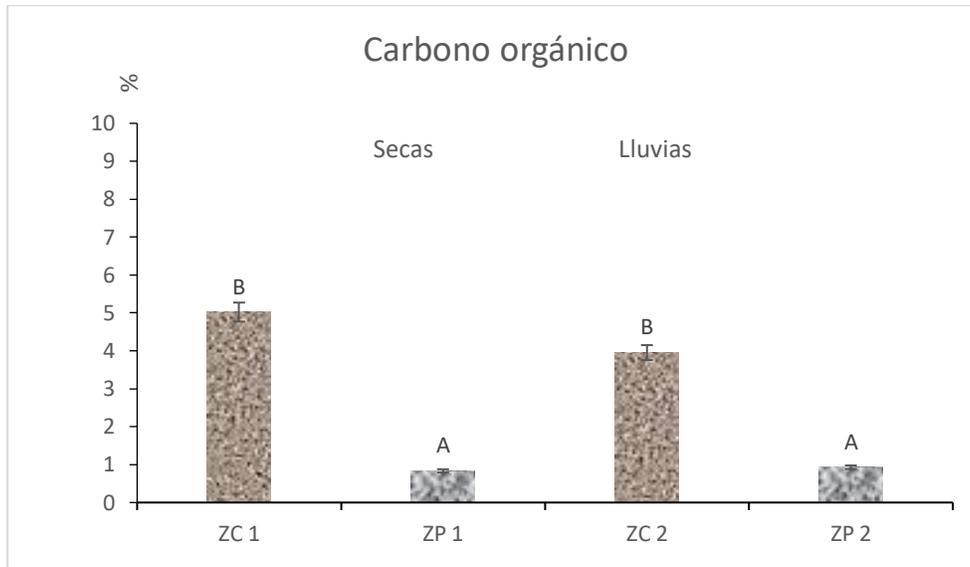


**Figura 22.** Porcentaje de Materia orgánica del suelo (MOS) en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

---

En la zona conservada, los valores obtenidos muestran mayor MOS en secas que en lluvias, en la zona perturbada la disminución de MOS es muy marcada y puede deberse a los procesos de erosión del suelo, la descomposición de la MOS aumenta con la humedad y temperatura asociados a la estacionalidad de este bosque, esto puede reflejarse en el aumento de la actividad microbiana. En la zona perturbada no hubo diferencias entre estaciones, lo que implica que la MOS permanece constante. La diferencia entre condiciones en la estación de secas fue de 6 veces más MOS en el suelo conservado vs suelo perturbado, esta diferencia se reduce a 4 veces más MOS en la estación de lluvias a favor de la zona conservada, estas diferencias pueden ser atribuidas a la presencia de la cantidad y tipo de hojarasca en cada sitio, y como resultado de la pérdida de la cubierta vegetal en la zona perturbada. Las diferencias en el MOS afectan la presencia del COS.

El carbono orgánico del suelo (COS) es una variable que se deriva de la materia orgánica del suelo, en este trabajo se registraron medias de 5.02 % en ZC 1 y 0.83% en ZP 1 en la estación de secas y en la estación de lluvias las medias fueron de 3.95% y 0.93 % en la ZC 2 y ZP 2. El análisis estadístico mostró diferencias estadísticas entre condiciones con medias mayores en la zona conservada ( $p \leq 0.0001$ ) sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas entre estaciones (Figura 23).



**Figura 23.** Porcentaje de carbono orgánico del suelo (COS) en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Las relaciones entre condiciones de la variable COS fueron similares a las encontradas en MOS, sin embargo, es muy importante el cálculo del COS porque son los sustratos sobre los que van a actuar los microorganismos del suelo, también el COS forma parte del almacén de carbono del suelo, en este caso los resultados indican mayor COS almacenado en la zona conservada que en la perturbada.

Estos datos coinciden con el trabajo de Facio (2015) quién reporta en dos estaciones la relación entre la materia orgánica del suelo y la producción de CO<sub>2</sub> del suelo. La entrada de la cantidad y tipo de materia orgánica al suelo se ha visto relacionada con la respiración microbiana y corresponde a la cantidad de C que los microorganismos pueden tomar del suelo, siempre que coincida con la presencia de humedad y temperatura favorables, lo que favorece las tasas de descomposición de la MOS del suelo. La MOS que no sea utilizada por

---

los microorganismos será almacenada en el suelo formando parte del almacén de carbono del suelo. En el Parque el Huixteco, la microtopografía local puede promover que en la estación de lluvias pueda haber arrastre de hojarasca, y que haya mayor actividad microbiana, sin embargo, esto no se refleja ni en el MOS ni en el COS del suelo.

La cantidad y tipo de materia orgánica del suelo afecta la composición de las comunidades microbianas del suelo, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Campos, 2014), en el caso del Parque El Huixteco en la zona conservada existe mayor cantidad de hojarasca de pino y encino, mientras que en la zona perturbada existen estos componentes y hojarasca de herbáceas (observación personal), lo que puede afectar la actividad microbiana. La MOS también influye en los agregados del suelo ya que al tener una mayor entrada de materia orgánica del suelo se propicia la formación de macro-agregados y reducen la posibilidad de compactación del suelo, disminuye el pH, la retención de humedad y la disposición de nutrimentos.

En el ecosistema de bosque templado la captura de carbono tiene tres componentes: la biomasa aérea, la hojarasca y el suelo, en el suelo ocurren dos procesos muy importantes para el balance del carbono la mineralización y la humificación, los que afectan el almacén de carbono medido como COS. El COS almacenado en el suelo del Huixteco se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{COS (MgC ha}^{-1}\text{)} = \text{COS (mg C g}^{-1}\text{)} \times \text{DA (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{Prof(m)} \times 10(\text{mg g}^{-1}\text{m}^{-3}\text{ ha}^1\text{)}$$

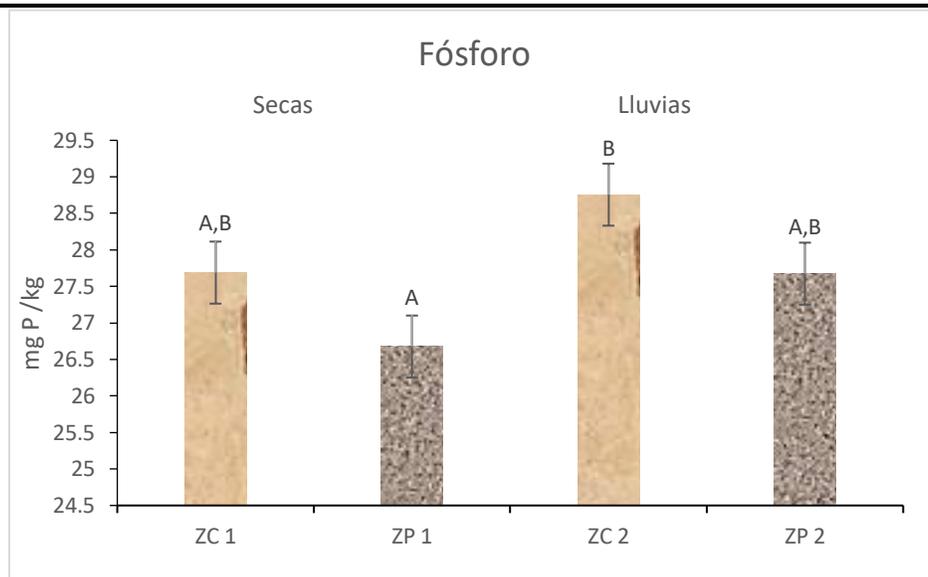
Con base en esta ecuación el suelo del Bosque de pino-encino del Parque El Huixteco almacena C en forma de COS en ZC 1 = 118.5 Mg C ha<sup>-1</sup>, ZP 1= 8.1 Mg

---

C ha<sup>-1</sup>, ZC 2 =101.9 Mg C ha<sup>-1</sup> y en ZP 2 de 20.89 Mg C ha<sup>-1</sup>. Estos datos muestran mayor COS almacenado en la zona conservada, y muy poco COS almacenado en la zona perturbada. Los valores son bajos en general y en particular en la zona perturbada, ya que para México se estiman entre 200 y 327 Mg C ha<sup>-1</sup> (Galicia *et al.*, 2016). Sin embargo, los mismos autores mencionan que los bajos valores de CO<sub>2</sub> suelen estar asociados a suelos poco desarrollados como los Leptosoles sobre los cuales pueden ubicarse algunos bosques templados mixtos de pino-encino, en ese trabajo no se realizó un análisis para clasificar el suelo, pero las observaciones hechas durante la toma de muestras, particularmente en la zona perturbada sugieren un suelo poco desarrollado (o muy erosionado), no se encuentra un horizonte B, además que el contenido de C también es afectado por la edad del suelo (Luna Suarez., 1998). En la zona conservada la cubierta vegetal reduce la erosión del suelo y ello permite un mayor almacén de COS en su suelo.

#### 7.3.5. Fósforo disponible y nitrógeno total

El fósforo disponible presente en el suelo presentaron medias de 27.69 mg kg<sup>-1</sup> y 26.68 mg kg<sup>-1</sup> obtenidas en la estación de secas ZC 1 Y ZP 1 mientras que en la estación de lluvias se encontraron valores de 28.76 y 27.60. De acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2002 los suelos son de clase medio de fósforo en la estación de secas y en la estación de lluvias. El análisis estadístico muestra que hay diferencias significativas solo entre las condiciones de ZP 1 y ZC 2 ( $p \leq 0.0001$  Figura 24).



**Figura 24.** Presentación de fósforo en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

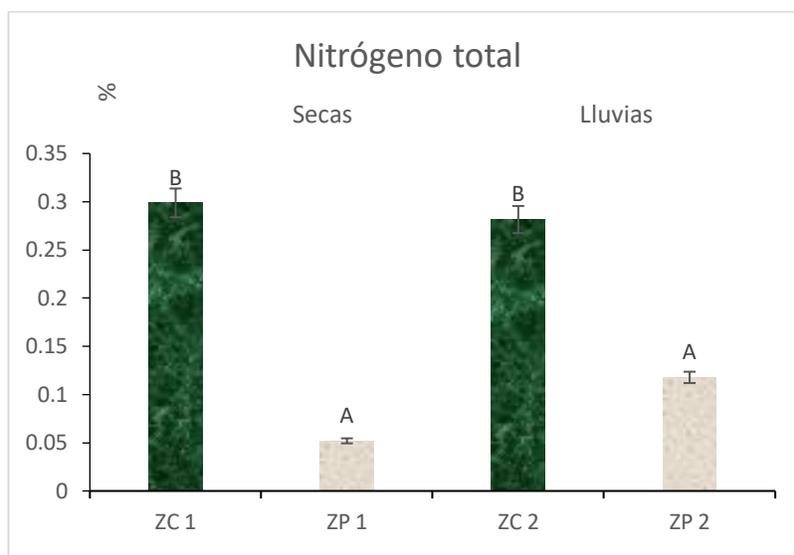
Los datos de fósforo muestran una similitud de la zona conservada en secas y la zona perturbada en lluvias con cantidades de 27.6 mg P/kg. Mientras que la zona conservada de secas fue la que menos fósforo tuvo con 26.68 mg kg<sup>-1</sup>, sugiriendo estabilidad los contenidos de fósforo. Sardans y Pañuelas (2005) menciona que la disminución de la disponibilidad de P en bosques pueden representar serios problemas para el crecimiento vegetal y por tanto para el funcionamiento del ecosistema, mientras que Tapia (2013) menciona que existe un aumento del 25% de fósforo en consonancia con el incremento de hojarasca, indicando una disminución de la actividad microbiana, como podría estar ocurriendo en la zona conservada en lluvias del Huixteco.

Los suelos obtuvieron un pH de moderadamente ácido lo cual puede ser debido a la liberación de CO<sub>2</sub> por los microorganismos lo que genera una elevada concentración de ácido carbónico ocasionando que el pH sea más

---

ácido aumentando la disponibilidad de nutrimentos como el fósforo, lo que puede estar ocurriendo en el suelo como de la zona conservada en lluvias del Huixteco. En terminos geológicos, se puede pensar que los contenidos de fósforo disponible son bajos (9-12 mg/kg) en términos absolutos, esto se explica debido a que las cenizas volcánicas recientes (geológicamente) suelen contener una pequeña cantidad de fósforo fácilmente soluble en extractos ácidos (Shoji *et al.*, 1993), y a que aún no se han formado minerales secundarios que fijén el fósforo; en este estudio la capacidad de retención de fósforo determinada en los suelos fue menor a 10 %, aunque no se hizo una revisión de la presencia de cenizas volcánicas en el suelo.

En la Figura 25 se muestra el porcentaje de nitrógeno total presente en el suelo, las medias obtenidas en la estación de secas fueron de 0.30 % y 0.05 % ZC 1 y ZP 1 en la estación de lluvias fueron medias de 0.28 % y 0.12 % respectivamente. De acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2002 los suelos de la zona conservada tienen un alto contenido de nitrógeno, y en la zona perturbada tiene bajo contenido de nitrógeno en la estación de secas y medio en la estación de lluvias. El análisis estadístico mostró diferencias entre condiciones, pero no entre estaciones ( $p \leq 0.0001$ ).

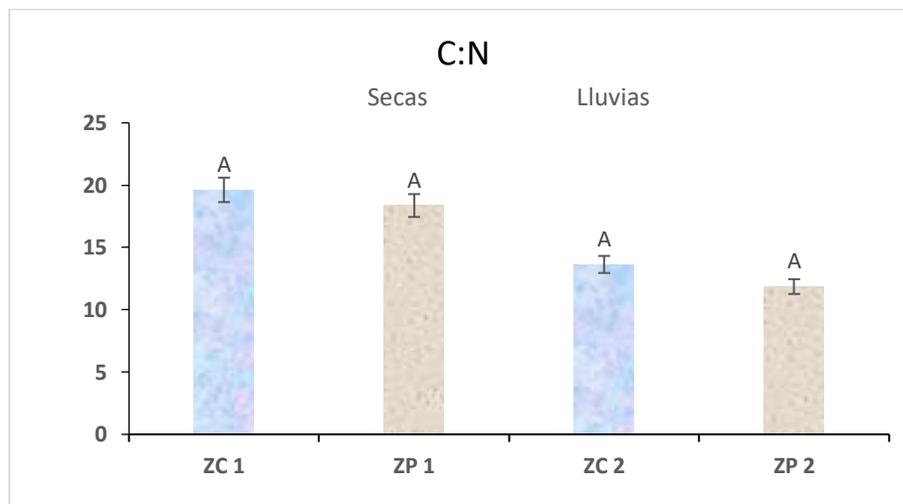


**Figura 25.** Presentación de nitrógeno en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Los suelos muestran que en la condición de perturbación los contenidos de nitrógeno total son odos o tres veces más bajos que en la zona conservada, esto puede deberse a que la liberación de N es lenta, ya León *et al.* (2007) plantea que las cantidades de nitrógeno en el suelo varían de manera proporcional a la biomasa bacteriana, él muestra datos de esta proporcionalidad entre la biomasa microbiana y el nitrógeno del suelo, en este caso, aunque no se registró esta relación, los resultados fueron contrarios, en la zona perturbada el nitrógeno del suelo fue muy bajo y la actividad microbiana más alta. Las lluvias no modificaron este patrón. Con los valores de pH del suelo (moderadamente ácidos) se favorece la nitrificación (Vergara, 2017) la diferencia en los contenidos de nitrógeno por zona se pueden deber a la solubilidad del nitrógeno en forma de nitratos y a su pérdida por lixiviación, o por demanda de la cobertura vegetal que al ser herbácea crece más rápido y demanda nitrógeno. Además, Vergara (2005)

menciona que los sistemas forestales el proceso de mineralización es lento ocasionando por los compuestos químicos (aceites, ligninas y ceras) que forman el MOS y que incluso los microorganismos requieren nitrógeno fijado de la atmósfera.

Los valores de la relación carbono nitrógeno (C:N) mostró medias de 19.62 en ZC 1 y 18.36 en ZP 1 en la estación de secas, y en la estación de lluvias en ZC 2 la media fue de 13.63 y de 11.86 en ZP 2. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre zonas ni entre estaciones (Figura 26).



**Figura 26.** Relación de carbono nitrógeno en la zona conservada (ZC) y perturbada (ZP) en las estaciones de secas(1) y secas (2) del cerro de Huixteco, Taxco Guerrero. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas.

Aunque no hubo diferencias por estación ni por condición, se nota una tendencia a presentar mayor relación C: N en la estación de secas que las de lluvias, sin embargo, en general son valores bajos ya que están los rangos de 11.86 y 19.62. Siebe *et al.* (1996) emplearon la proporción C/N como indicador de la disponibilidad de N en suelos de bosques de coníferas, considerando que un ecosistema con N limitado tiene valores mayores a 30, con disponibilidad

---

media entre 25 y 30, y saturado si es menor a 25. Flores (2010) menciona que la MO con una relación C/N mayor a 15 suministra mucha energía y poco nitrógeno, mientras que con una relación C/N menor a 10 suministra poca energía y mucho nitrógeno. En ambos casos los microorganismos desintegradores se multiplican poco activamente y la MOS se descompone con lentitud. En cambio, los residuos vegetales con una relación C/N entre 10 y 15 favorecen la proliferación de los microorganismos y la descomposición rápida de la MOS.

Galicia y Gamboa (2011) mencionan que al tener valores bajos (para bosques) en la relación C:N la calidad de la materia orgánica aumenta en bosques sin cambios de uso de suelo de acuerdo a las especies y la edad de las plantas que ahí crecen. Con valores menores a 20 la mineralización es mayor, el sustrato es más fácil de descomponer y los organismos son capaces de tomar el carbono y nitrógeno para la síntesis de aminoácidos y proteínas, así como para mantener su biomasa (Brady y Weil, 2008), lo que no ocurre en el Huixteco.

El N de la MOS queda disponible para las plantas cuando la relación C/N se aproxima a 10 como se observa en la zona perturbada. Sin embargo, la liberación de N es baja ya que en los suelos forestales el proceso de mineralización es lento. Cuando no se mineraliza suficiente N, ocasiona que durante el proceso de descomposición, este deba ser tomado del ambiente; ya que de otro modo se frena la descomposición por que los microorganismos los que no pueden reproducirse. En este caso, el cociente C/N y la respiración mostraron una relación positiva, los valores máximos C/N en cada estación fue mayor en la zona conservada que en la perturbada y la respiración disminuye al igual que los

---

valores de C/N solo en la zona perturbada. Esta tendencia nos indica que la calidad de la materia orgánica es la adecuada para que los microorganismos del suelo puedan aprovecharla (Brown y Lugo, 1992). De esta forma hay mayor actividad microbiana y por lo tanto mayor producción de CO<sub>2</sub>. Rocha (2015) encontró que la calidad de la materia orgánica aumenta en bosques sin cambios de uso de suelo como se muestra en la zona conservada al tener valores bajos o alrededor de 18 en la relación C/N a aquellos que han sido modificados.

Pero también depende del tipo de vegetación de la cual se aporta materia orgánica al suelo (Martinez, 2010). Por lo tanto hay una disminución en la actividad metabólica de la biomasa microbiana después de cambiar la conversión de un bosque a una zona dedicada a la agricultura (Raich, 1995).

---

## 8. CONCLUSIONES

- La biomasa seca contenida en la hojarasca fue mayor en la zona conservada y en la estación de lluvias, por lo que aporta mayor cantidad de materia orgánica al suelo afectando todas las propiedades físicas y químicas que se relacionan con ella, en particular acidificando el suelo lo que favorece la biomasa microbiana y con ello los procesos de mineralización.
- La biomasa microbiana tuvo valores más altos en CBM,  $qCO_2$  y el IEM en la condición ZP 2 en lluvias, con respecto al resto de las condiciones. Seguramente los claros presentes en la zona perturbada favorecieron mayor temperatura en el suelo que aunado a la precipitación de estación de lluvias, y el hecho de haya mayor presencia de la vegetación herbácea pudo aportar hojarasca más lábil en estos sitios, acidificando el pH, lo que favorece la actividad microbiana.
- Los suelos fueron diferentes en propiedades DR, pH, MOS, COS, P y N como resultado de la condición: conservado vs perturbado, aunque no existieron diferencias entre estaciones (secas vs lluvias). Las propiedades del suelo bajo la condición de conservado presentó mejores condiciones.
- El carbono orgánico del suelo (COS) almacenado en el suelo conservado fue de 118.5 Mg C/ha en la estación de secas vs 101.9 Mg C/ha en lluvias; valores que de acuerdo con Vela, G (2012) corresponde a suelos con alto nivel de carbono almacenado, mientras que en la zona perturbada fue de 8.1 Mg C/ha en secas y aumento en lluvias a 20.89 Mg C/ha que son considerados

---

suelos con el bajo nivel de almacenamiento de carbono, estos intervalos corresponden a bosques templados mexicanos.

---

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar, I. (2018). Contenidos de carbono orgánico y su comportamiento en sistemas ribereños adyacentes a cuatro biotopos del Parque Nacional Izta-Popo y zonas de influencia. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México, D.F
2. Alcántara, Z. (2009). Producción de CO<sub>2</sub> microbiano en suelos de bosques templados de Oaxaca: Una comparación de sitios húmedos y secos. Tesis de Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. México. 67 pp.
3. Arango-Galván, A., L. Cutz-Pool y Z. Cano-Santana (2009). Heterogeneidad espacial y dinámica de descomposición de hojarasca de cuatro especies abundantes en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel. Págs. 395-402. En: Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM, México, D.F.
4. Andrade, C., Milena A., y Rojas-Patiño. (2016). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 27 :2, 233-241.
5. Álvarez, S., y Anzueto M, M. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agro ciencia*, 38 :1, 13-22
6. Álzate, R. y Campiño, A. (2014). Actividad microbiana de suelos con manejo orgánico y convencional. Facultad de tecnología química (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira.

- 
7. Barreto, G. E. (2018). Macro invertebrados de hojarasca y suelo en selva baja caducifolia y zonas perturbadas. *Idesia (Arica)*, 36(1), 105-113
  8. Bautista, Z. A. (2000). Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinaza. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 16: 3,89-101
  9. Ballesteros, B., y León, G. (2007). Información Técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM p. 92
  10. Beltrán P, y Pita M. (2017). Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de villa de leyva, Boyacá. *Colombia Forestal*, 20(2), págs.
  11. Bockheim, J.G. (1991). Suelos forestales. Young R. A. Noriega Editores. México.
  12. Bray, R., y L, Kurtz. (1945). Determination of total, organic, and available phosphorus in soil. *Soil Sci* 59: 39 -45
  13. Brady N. y Weil R. (2008). The nature and properties of soils. Prentice Hall. Columbus, Ohio. 975 pp
  14. Brown, S. y Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17.
  15. Campos, C. (2014). Trends in soil respiration on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (Mexico): Environmental contributions. *Catena*, 114: 59-66.
  16. Castillo, C. S. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca cusamá el tuma - la dalia matagalpa, Nicaragua Septiembre. Universidad Nacional Agraria Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.

- 
17. Coleman, D., y Crossley, A. (2004). *Fundamentals of soil ecology*. Academic press.
  18. CONAFOR. (2018) Bloque 2: Importancia de los bosques para la mitigación del cambio climático. Curso sobre bosques, cambio climático., Gobierno SEMARNAT México. Sitio Web: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/3893Bosques%20y%20cambio%20climatico.pdf>
  19. Chapela, F. (2012). Estado de los Bosques de México. (2019) de Consejo civil mexicano para la silvicultura sostenible A. C. 2019, de A.C Sitio web: [https://www.ccmss.org.mx/wpcontent/uploads/2014/10/Estado\\_de\\_los\\_bosques\\_en\\_Mexico\\_final.pdf](https://www.ccmss.org.mx/wpcontent/uploads/2014/10/Estado_de_los_bosques_en_Mexico_final.pdf)
  20. Chapín, F., Matson, P., y Vitousek, P. (2011). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media
  21. Chen J, Franklin JF, Spies TA. Vegetation Responses to Edge Environments in Old-Growth Douglas-Fir Forests. *Ecol Appl.* (2001) ;2 (4) : 387-396 . DOI: 10.2307 / 1941873
  22. Criqueet, S., Ferre, E., y Farnet, A. (2004). Annual dynamics of phosphatase activities in an evergreen oak litter: influence of biotic and abiotic factors. *Soil Biology & Biochemistry*, 36, DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.02.021 .
  23. Cruz, G. (2006) *Ecología del suelo. Un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
  24. Delgadillo, E. (2011). *Productividad primaria neta en los bosques templados de la cuenca del río Magdalena*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

- 
25. Di Ciocco, y Coviella, C. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46 :1, 73-85.
26. Facio, L. (2015). La relación carbono-nitrógeno en el mantillo y suelo del bosque de *abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, D.F., México. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM, México.
27. FAO (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Unasylva*. Revista Internacional sobre bosques y actividades industriales forestales. Vol. 66 200 51: 18-24.
28. Flores, L. (2010) Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física del suelo. UNAM Instituto de Geología, Departamento de Edafología. pp.
29. Ferrera, C. (1999) Efecto de rizósfera, En *Agro microbiología*, elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo Estado de México. *Terra Latinoamericana*. 17:5. 179-191.
30. Fregoso, A., A. Velázquez, G. Bocco y G. Cortéz. (2001). El enfoque de paisaje en el manejo forestal de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*. 46:58-77.
31. Gamboa, A. M., y Galicia, L.(2011). Differential influence of land use/cover change on topsoil carbon and microbial activity in low latitude temperate forests. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142: 280-290.

- 
32. Galicia, L., Gamboa Cáceres, A., Cram, S., Peña Ramírez, Saynes, V., y Siebe, Ch. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34 :1, 1-29.
33. Gómez-Luna, B. E., M. C. Rivera-Mosqueda, L. Dendooven, G. Vázquez-Marrufo, y V. Olalde-Portugal. (2009). Charcoal production at kiln sites affects C and N dynamics and associated soil microorganisms in *Quercus* spp. temperate forests of central Mexico. *Appl. Soil Ecol.* 4: 50-58.
34. Gómez-Romero, M., J. C. Soto-Correa, J. A. Blanco-García, C. Sáenz-Romero, J. Villegas y R. Lindig-Cisneros. (2012). Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46: 795-807.
35. Granados D. M. del R. (2003). Calidad del suelo y estado nutrimental del género *Pinus* en la vertiente occidental del Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Lic. Carrera de Biología. México D. F.
36. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., y Townshend, J. R. G. (2013). Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850-853. DOI: 10.1126/science.1244693
37. Hansen, M. C. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160): 850-53.
38. Hush, B. (2001). Estimación del contenido de carbono de los bosques. En: Simposio internacional, medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Chile. 9 pp.

- 
39. Ikkonen, E., A. C. E. y García, C. N. E. (2004). Producción de CO<sub>2</sub> en Andosoles afectados por incendios forestales en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo. Terra: Órgano Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, AC.
40. Iglesias, M. T. (2008) Estudio del carbono de biomasa microbiana en suelos alterados. Universidad Francisco de Vitoria, Ctra. Pozuelo-Majadahonda, Pozuelo de Alarcón (Madrid) LAZAROA 29: 117-123. Madrid
41. INEGI (2009) Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Taxco de Alarcón, Guerrero Clave geoestadística 12055
42. IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). Cambio climático 2001. Impactos adaptación y vulnerabilidad. PNUMA. OMM.
43. Jackson, M. L. (1964). Análisis químico de suelos. Traducción al español de J. Beltrán. Omega, Barcelona, España.
44. Jiménez, D. E., V. Saynes, C. Hidalgo y J. D. Etchevers. (2013). Protocolo de operación para medición de carbono en suelo. pp. 81-86. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
45. Khoo, H. H. y Tan, R. B. (2006). Life cycle investigations of CO<sub>2</sub> recovery and sequestration. Environmental science and technology

- 
46. León, H. M., (2007). Estimación del contenido de C en suelos de bosques templados y su relación con la calidad del suelo. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México.
47. Lou, Y., Zhou, X. (2006). Soil Respiration and the Environment. Elsevier
48. Luan, J., Liu, S., Zhu, X., Wang, J. y Liu, K. (2012). Roles of biotic and abiotic variables in determining spatial variation of soil respiration in secondary oak and planted pine forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 44: 143-150
49. Lugo, A. y Brown, S. (1992). Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 48.
50. Luna-Suarez, L. (1998) Dinámica de C y N en regiones semiáridas de la meseta central de México bajo influencia de la vegetación nativa (Tesis Maestría en Ciencias). CINVESTAV. Pp 50
51. Marín, R. (2017). Universidad Nacional Abierta y a Distancia "UNAD". ECAPMA. Diagnóstico de la Densidad aparente en relación con otras propiedades físicas del suelo en tres sistemas productivos y bosque nativo, en terrazas altas del piedemonte llanero. Universidad Nacional Abierta y a Distancia "UNAD", ECAPMA. Agronomía.
52. Martínez, G. Y., Ortiz-Medel, J. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la Cuenca La Esperanza. *Tecnología y ciencias del agua*, 1 (4), 89-103.
53. Martínez, H. (2007). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción

---

Agrícola. Laboratorio de relación Suelo-Agua-Planta. Casilla 1004. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1), 68-96.

54. Martínez, S. (2012). Actividad enzimática de suelos ribereños y su fertilidad en bosques del parque nacional Izta-popo, Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.
55. Mariño W. y Liecerber R. (2002) Seasonal effects on microorganisms in the rizosphere of two tropical plants in polyculture agroforestry system in Central Amapá, Brazil. *Plant Soil* 261, 199-208
56. McGuire, D. (2014). FAO's Forest and Landscape Restoration Mechanism. In J. Chavez-Tafur y J. Roderick Zagt, eds. *Towards productive landscapes*. Wageningen, Netherlands, Tropenbos International.
57. Metting Jr. F. B. (1992). *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*. Marcel Dekker, Inc
58. Miralles I, R Ortega, M Sánchez-Marañón, M.C. Leirós, C Trasar Cepeda, F Gil-Sotres. (2007). Biochemical properties of range and forest soils in Mediterranean mountain environments. *Biology and Fertility Soil* 43: 721-729.
59. Montaña, N. M.; Ayala, F.; Bullock, S. H.; Briones, O.; García, O. F.; García, S. R.; Maya, Y.; Perroni, Y.; Siebe, C.; Tapia, T. Y.; Troyo, E. y Yépez, E. (2016). Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 39-59
60. Murty, D., Kirschbaum, M.U.F., McMurtrie, R.E., y McGilvray, H. (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global Change Biol.* 8(2): 105-123.

- 
61. Navarro-Martínez, M., López, L., Rosas, A., Godínez, J., Juárez, L., y Reyes, M. (2020). Reservorio de biomasa y carbono aéreo en el bosque templado de la microcuenca del Río de Hueyapa, Guerrero, México. Programa Mexicano del Carbono; 376-382.
62. Núñez, S. (2000) Fundamentos de la edafología, San José. Reino Unido 188 pp.
63. Núñez, Y., Irusta, R., García, N. y Nieto, M. (2003) Herramientas ambientales al servicio del Cambio Climático y la Agricultura Sostenible División de Medio Ambiente – CARTIF Parque Tecnológico de Boecillo. Parcela 205 47151 Boecillo Valladolid.
64. Norma Oficial Mexicana (NOM -021- SEMARNAT) .(2000). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos estudio, muestreo y análisis. México. Diario Oficial de la Nación .75 pp.
65. Pardo-Plaza, Y., Gómez, P. J., y Cantero-Guevara, M. E. (2019) Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica , 22 (1), e1144.
66. Paredes, G. (2016). Respiración microbiana del suelo en sitios con diferente cobertura arbórea en el bosque de *Abies religiosa* en la cuenca del río Magdalena, D.F., México. (Tesis de Licenciatura). UNAM Facultad de Ciencias, Ciudad de México
67. Pérez J. 2006. Estimación del contenido de Carbono en mantillo de diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo en la región Purépecha, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM, México. 54 pp

- 
68. Powlson, D. S., Brookes, P. C. and Christensen, B. T. (1987). Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to Straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(2), 159-164.
69. Quinton, J. N., Govers, G., y Bardgett, R. D. (2010). The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*, pp.311–314.
70. Raich, J. W. y Potter, C. S. (1995). Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 9: 23-36.
71. Raisei F. y Asadi, E. (2006) Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. *Biol Fertil Soil* 43: 76-82
72. Ramírez, G (2008) Densidad de la fauna edáfica como indicador de calidad del suelo en bosques templados y zonas adyacentes en México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Ciudad de México.
73. Ramos, E. y Zúñiga, D. (2008). Efecto de la Humedad, Temperatura y pH del Suelo en la Actividad Microbiana a Nivel de Laboratorio. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
74. Rocha A. y Ramírez N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 84:1-12.
75. Rojas, R. (2015). Evaluación de diferentes sistemas ganaderos y su efecto en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en el distrito de José

---

Crespo y Castillo. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Agraria de la selva, Perú.

76. Rojo, M. y V. Martínez (2003). Las masas forestales como sumideros de CO<sub>2</sub> ante un cambio climático global. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1), 57-67.
77. Rzedowski, J., (1992). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Ciencias. Acta Botánica Mexicana* 15: 47-64.
78. Sardans, J. y J. Peñuelas (2005). Asociación española de ecología terrestre. Disponibilidad y uso del fósforo en los ecosistemas terrestres mediterráneos. La inspiración de Margalef Unitat d'Ecofisiologia. (Centre de Recerca Ecológica i Aplicacions Forestals), Edifici C. Universitat Autònoma de Barcelona, 08913 Bellaterra (Barcelona), España
79. Shi, W. Y., Tateno, R., Zhang, J. G., Wang, Y. L., Yamanaka, N. y Du, S. (2011). Response of soil respiration to precipitation during the dry season in two typical forest stands in the forest–grassland transition zone of the Loess Plateau. *Agricultural and forest meteorology*, 151: 854-863
80. Shoji, S., J. M. Nansyo, and R. Dahlgren. (1993). Volcanic ash soils, genesis, properties and utilization. *Devel. Soil Sci.* 21:288.
81. Siebe, Ch. (1996) Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación Especial 4, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Chapingo, México, 57 págs.
82. Sponseller, R. A. (2007). Precipitation pulses and soil CO<sub>2</sub> flux in a Sonoran Desert ecosystem. *Global Change Biology*, 13: 426-436.

- 
83. Taiz, L. y Zeiger, E. (2013). La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: Una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 31 (3), 231-242.
84. Tapia, G. (2013). La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: Una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 31 (3), 231-242. R
85. Torres, D., N. Rodríguez, H. Yendis, A. Florentino y F. Zamora. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 18(2): 123-128.
86. United States Department of Agriculture. (1999). *Soil quality test kit guide*. USA: United States Department of Agriculture, 48 p.
87. Valencia A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:33-53.
88. Van Oosten. (2014). *Governing forest landscape restoration: Cases from Indonesia*. *Forests* 5:1143-62.
89. Vega, J. (2019). Estimación del contenido de carbono orgánico en suelos y vegetación del estado de Campeche. Propuesta metodológica. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 317-328.
90. Vela, G. (2012) Niveles de carbono orgánico total en el suelo de conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 77: 18-30.

- 
91. Vergara, E. (2017). Proyecto Determinación de densidad aparente, Laboratorio de Edafología General. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias
92. Vásquez, M. E. (2005) . Calcio y Magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. Pp. 161-188
93. Vélez, K. A. (2013). Estimacion de líneas de base del contenido de carbono organico del sistema suelo-planta en un ambiente ribereño del rio Amecameca. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.
94. Walkley, A. y Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid method . Soil Science. 37: 29-37
95. Zamora, M. M. C. (2016). Superficie forestal actual. Revista mexicana de ciencias forestales, 7(35), 4-5.

## 10. ANEXO 1

### Total, hojarasca peso fresco

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
gramos	60	0.38	0.34	66.00

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1004817.73	3	334939.24	11.22	<0.0001
zona	1004817.73	3	334939.24	11.22	<0.0001
Error	1671088.00	56	29840.86		
Total	2675905.73	59			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=126.35957

Error: 29840.8571 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
z.pl	104.40	15	44.60	A
Z.P2	163.93	15	44.60	A
z.cl	381.47	15	44.60	B
Z.C2	397.13	15	44.60	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

### Total, hojarasca peso seco

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
gramos	60	0.27	0.23	57.05

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	123040.98	3	41013.66	6.83	0.0005
zona	123040.98	3	41013.66	6.83	0.0005
Error	336388.67	56	6006.94		
Total	459429.65	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=74.93687

Error: 6006.9405 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
z.pl	89.60	15	20.01	A
z.p2	105.53	15	20.01	A
z.c2	140.87	15	20.01	A B
z.cl	207.40	15	20.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

## Total, de hojarasca fresco y seco

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
gramos	120	0.44	0.41	67.35

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1603257.13	7	229036.73	12.78	<0.0001
zona	1603257.13	7	229036.73	12.78	<0.0001
Error	2007476.67	112	17923.90		
Total	3610733.79	119			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=151.01057

Error: 17923.8988 gl: 112

zona	Medias	n	E.E.
------	--------	---	------

z.pls	89.60	15	34.57 A
-------	-------	----	---------

z.pl	104.40	15	34.57 A
------	--------	----	---------

z.p2s	105.53	15	34.57 A
-------	--------	----	---------

z.c2s	140.87	15	34.57 A
-------	--------	----	---------

Z.P2	163.93	15	34.57 A
------	--------	----	---------

z.c1s	207.40	15	34.57 A
-------	--------	----	---------

z.c1	381.47	15	34.57 B
------	--------	----	---------

Z.C2	397.13	15	34.57 B
------	--------	----	---------

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Total, de CO<sub>2</sub>

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
co2	60	0.06	0.01	64.45

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.69	3	0.23	1.14	0.3422
zona	0.69	3	0.23	1.14	0.3422
Error	11.34	56	0.20		
Total	12.03	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.43503

Error: 0.2024 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.
------	--------	---	------

z.pl	0.59	15	0.12 A
------	------	----	--------

z.c2	0.63	15	0.12 A
------	------	----	--------

z.c1	0.71	15	0.12 A
------	------	----	--------

z.p2	0.87	15	0.12 A
------	------	----	--------

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Total de CBM

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
cbm	60	0.18	0.13	83.33

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.26	3	0.09	4.01	0.0117
zona	0.26	3	0.09	4.01	0.0117
Error	1.19	56	0.02		
Total	1.45	59			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.14111

Error: 0.0213 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
z.pl	0.12	15	0.04	A
z.c2	0.12	15	0.04	A
z.c1	0.18	15	0.04	A B
z.p2	0.28	15	0.04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Total CBM Y CO<sub>2</sub>

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
mg	120	0.42	0.38	76.93

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.15	7	1.31	11.61	<0.0001
zona	9.15	7	1.31	11.61	<0.0001
Error	12.60	112	0.11		
Total	21.75	119			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37839

Error: 0.1125 gl: 112

zona	Medias	n	E.E.	
z.pls	0.12	15	0.09	A
z.c2s	0.12	15	0.09	A
z.cls	0.18	15	0.09	A
z.p2s	0.28	15	0.09	A B
z.pl	0.58	15	0.09	B C
Z.P2	0.63	15	0.09	B C
z.c1	0.71	15	0.09	C
Z.C2	0.87	15	0.09	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Índice de Eficiencia Microbiana

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
IEM	60	0.18	0.14	89.05

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.74	3	0.25	4.11	0.0105
zona	0.74	3	0.25	4.11	0.0105
Error	3.36	56	0.06		
Total	4.10	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.23683

Error: 0.0600 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
z.p1	0.20	15	0.06	A
z.c2	0.20	15	0.06	A
z.c1	0.24	15	0.06	A B
z.p2	0.47	15	0.06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## q CO<sub>2</sub>

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
qCO <sub>2</sub>	60	0.18	0.14	89.28

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.74	3	0.25	4.12	0.0104
zona	0.74	3	0.25	4.12	0.0104
Error	3.36	56	0.06		
Total	4.10	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.23689

Error: 0.0600 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
z.p1	0.20	15	0.06	A
Z.C2	0.20	15	0.06	A
z.c1	0.24	15	0.06	A B
Z.P2	0.47	15	0.06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Propiedades del suelo

### Densidad Aparente

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D.A	60	0.51	0.48	32.80

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.32	3	2.11	19.07	<0.0001
zona	6.32	3	2.11	19.07	<0.0001
Error	6.19	56	0.11		
Total	12.51	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.32146

Error: 0.1105 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
Z.P1	0.46	15	0.09	A
Z.P2	1.12	15	0.09	B
Z.C1	1.18	15	0.09	B
Z.C2	1.29	15	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Densidad Real

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
D.R	60	0.61	0.59	3.29

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.13	3	0.04	29.56	<0.0001
zona	0.13	3	0.04	29.56	<0.0001
Error	0.08	56	1.5E-03		
Total	0.22	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03752

Error: 0.0015 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
Z.P2	1.13	15	0.01	A
Z.P1	1.13	15	0.01	A
Z.C1	1.22	15	0.01	B
Z.C2	1.23	15	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## % Espacio Poroso

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
E.P	60	0.02	0.00	92.76

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1132.00	3	377.33	0.32	0.8139
zona	1132.00	3	377.33	0.32	0.8139
Error	66902.77	56	1194.69		
Total	68034.77	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=33.41927

Error: 1194.6924 gl: 56

zona Medias n E.E.

Z.C2 32.50 15 8.92 A

Z.P2 35.68 15 8.92 A

Z.C1 36.55 15 8.92 A

Z.P1 44.32 15 8.92 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

## pH

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	60	0.69	0.67	3.01

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.51	3	1.17	41.11	<0.0001
ZONA	3.51	3	1.17	41.11	<0.0001
Error	1.59	56	0.03		
Total	5.10	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.16313

Error: 0.0285 gl: 56

ZONA Medias n E.E.

Z.P1 5.35 15 0.04 A

Z.P2 5.39 15 0.04 A

Z.C1 5.84 15 0.04 B

Z.C2 5.87 15 0.04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

## % Materia Orgánica

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%M.O	60	0.73	0.71	44.00

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	644.45	3	214.82	49.91	<0.0001
ZONA	644.45	3	214.82	49.91	<0.0001
Error	241.04	56	4.30		
Total	885.48	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.00594

Error: 4.3043 gl: 56

ZONA	Medias	n	E.E.	
Z.P1	1.44	15	0.54	A
Z.P2	1.60	15	0.54	A
Z.C2	6.87	15	0.54	B
Z.C1	8.95	15	0.54	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## % Carbono Orgánico

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%c	60	0.71	0.69	45.80

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	203.57	3	67.86	44.87	<0.0001
ZONA	203.57	3	67.86	44.87	<0.0001
Error	84.69	56	1.51		
Total	288.26	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.18905

Error: 1.5124 gl: 56

ZONA	Medias	n	E.E.	
Z.P1	0.83	15	0.32	A
Z.P2	0.93	15	0.32	A
Z.C2	3.95	15	0.32	B
Z.C1	5.02	15	0.32	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Humedad Gravimétrico

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
H.GM	60	0.29	0.25	67.30

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8379.47	3	2793.16	7.52	0.0003
zona	8379.47	3	2793.16	7.52	0.0003
Error	20807.72	56	371.57		
Total	29187.19	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=18.63748

Error: 371.5664 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
Z.P1	15.55	15	4.98	A
Z.C1	20.10	15	4.98	A
Z.P2	33.11	15	4.98	A B
Z.C2	45.80	15	4.98	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Humedad volumétrica (g cm-3)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
VM	60	0.39	0.35	77.82

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.82	3	0.94	11.74	<0.0001
zona	2.82	3	0.94	11.74	<0.0001
Error	4.48	56	0.08		
Total	7.29	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.27339

Error: 0.0800 gl: 56

zona	Medias	n	E.E.	
Z.P1	0.07	15	0.07	A
Z.C1	0.25	15	0.07	A B
Z.P2	0.51	15	0.07	B C
Z.C2	0.62	15	0.07	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## % Nitrógeno

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N	59	0.40	0.37	71.64

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.65	3	0.22	12.33	<0.0001
ZONA	0.65	3	0.22	12.33	<0.0001
Error	0.97	55	0.02		
Total	1.63	58			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.12978

Error: 0.0177 gl: 55

ZONA	Medias	n	E.E.	
Z.P1	0.05	15	0.03	A
Z.P2	0.12	15	0.03	A
Z.C2	0.28	15	0.03	B
Z.C1	0.30	14	0.04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

## C: N

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C:N	60	0.08	0.03	71.73

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	620.01	3	206.67	1.59	0.2008
Columnal	620.01	3	206.67	1.59	0.2008
Error	7256.69	56	129.58		
Total	7876.71	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=11.00637

Error: 129.5838 gl: 56

Columnal	Medias	n	E.E.	
Z.P2	11.86	15	2.94	A
Z.C2	13.64	15	2.94	A
Z.P1	18.36	15	2.94	A
Z.C1	19.62	15	2.94	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

---

## FOSFORO (P)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P	60	0.19	0.14	5.75

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32.47	3	10.82	4.26	0.0088
ZONA	32.47	3	10.82	4.26	0.0088
Error	142.26	56	2.54		
Total	174.73	59			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.54107

Error: 2.5404 gl: 56

ZONA	Medias	n	E.E.	
Z.P1	26.68	15	0.41	A
Z.P2	27.67	15	0.41	A B
Z.C1	27.69	15	0.41	A B
Z.C2	28.76	15	0.41	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

---

