



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO  
DE MORELOS**

---

---

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**

**Restauración de la selva estacional de Morelos: efectos en el  
suelo a corto plazo**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN BIOLOGÍA INTEGRATIVA DE  
LA BIODIVERSIDAD Y LA CONSERVACIÓN**

**PRESENTA:**

**BIÓL. HÉCTOR ENRIQUE JIMÉNEZ HERNÁNDEZ**

**DIRECTORA: DRA. CRISTINA MARTÍNEZ GARZA**



**CUERNAVACA, MORELOS.**

**OCTUBRE, 2021**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me fue otorgada con el No. de CVU 934261 otorgada de septiembre de 2018 a agosto de 2020.

Al Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC) por haberme dado la oportunidad de continuar con mi formación académica ingresando al posgrado en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación (MBIByC) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).

### **A los miembros de mi comité tutorial:**

Dra. Cristina Martínez Garza

Dr. Homero Julio Eudes Campo Alves

Dra. Patricia Valentina Carrasco Carballido

### **A los miembros de mi comité revisor:**

Dr. José Juan Blancas Vázquez

Dra. Lilia Lisseth Roa Fuentes

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Cristina Martínez Garza por sus enseñanzas, su paciencia, sus comentarios, su preocupación en los momentos difíciles y sobre todo su apoyo incondicional para la realización de esta tesis, de corazón mil gracias.

Al Dr. Julio Campo por brindarme espacio en su Laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima del Instituto de Ecología de la UNAM y al M. en C. Enrique Solís Villalpando por transmitir su conocimiento y ayuda en la realización de los análisis químicos de suelo.

A la Dra. Valentina Carrasco por cada aporte y cada comentario para mejorar este trabajo en cada seminario de investigación

Al M. en C. José Flavio Márquez Torres por su confianza al invitarme al ser parte de su proyecto, por sus enseñanzas, su ayuda fundamental en las salidas al campo y la estancia en el laboratorio, pero sobre todo por su entrañable amistad.

A Don Gilberto Quintero por acceder al préstamo de sus tierras para poder establecer el proyecto.

A Don Evodio Rendón (Don Goyo) por su apoyo fundamental en Quilamula en cada salida a campo, en cada muestreo y en cada recorrido, por sus grandes pláticas y anécdotas siempre haciendo el trabajo más ameno.

A Alberto y a Miguel Neptalí por su gran ayuda y por nunca rajarse en todos los muestreos, en verdad muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

A mis padres, Héctor Jiménez y Margarita Hernández por su amor, su apoyo incondicional y por su confianza. Han sido tiempos difíciles, pero a ustedes les debo las cosas buenas que hay en mí y los logros que he alcanzado. Gracias.

A mis hermanos, Hugo, Abril y Aurelio, por su cariño y comprensión, por esa unión que hemos creado, los quiero mucho.

A mis abuelitos Ernestina y Victoriano y a toda mi familia por todo su apoyo y motivación. Un agradecimiento especial a mi abuelita Elvira, mi tía Lety y a todos los que se nos adelantaron en este tiempo que donde quiera que estén estarán felices por este logro.

A todos mis amigos y compañeros con los que pude compartir clase o algún momento de alegría haciendo este trayecto bastante agradable.

A todas aquellas personas que han sido parte de mi vida por compartir su tiempo, cariño y comprensión, siempre llevaré conmigo lo mejor de cada una de ustedes. Gracias.

**Citar como:**

Jiménez-Hernández, H.E. 2021. Restauración de la selva estacional de Morelos: efectos en el suelo a corto plazo. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 67 pp.

Contenido

<b>Índice de tablas .....</b>	<b>1</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>2</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>7</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>8</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>10</b>
<b>Reducción de la selva estacional .....</b>	<b>10</b>
<b>Impactos de las actividades agropecuarias en el suelo.....</b>	<b>12</b>
<b>Efecto de la estacionalidad en la entrada de nutrientes al suelo .....</b>	<b>14</b>
<b>Sucesión natural en la selva estacional.....</b>	<b>16</b>
<b>Restauración ecológica.....</b>	<b>18</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>19</b>
<b>Hipótesis y Predicciones.....</b>	<b>20</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>20</b>
<b>Diseño experimental .....</b>	<b>24</b>
<b>Muestreo de suelo.....</b>	<b>29</b>
<b>Análisis químicos de suelo .....</b>	<b>31</b>
<b>Análisis Estadísticos .....</b>	<b>35</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>36</b>
<b>Efecto interacción Hábitat X Estacionalidad .....</b>	<b>49</b>
<b>Discusión .....</b>	<b>51</b>
<b>Efecto del hábitat .....</b>	<b>51</b>
<b>Efecto de la estacionalidad .....</b>	<b>56</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>59</b>
<b>Implicaciones para la restauración.....</b>	<b>60</b>
<b>Literatura citada .....</b>	<b>61</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Promedio $\pm$ un error estándar del pH y el NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> del suelo (0-10 cm de profundidad) de cuatro hábitats de una selva estaciona de Quilamula, Morelos. Se indica el valor de F por efecto del hábitat; NS= no significativo.....	35
<b>Tabla 2.</b> Mediana $\pm$ desviación estándar del C-orgánico del suelo (0-10 cm de profundidad) de cuatro hábitats de una selva estaciona de Quilamula, Morelos. Se indica el valor de H por efecto del hábitat; NS= no significativo.....	37
<b>Tabla 3.</b> Promedio $\pm$ un error estándar del N total y P total del suelo (0-10 cm de profundidad) durante las estaciones de secas y lluvias de una selva estaciona de Quilamula, Morelos. Se indica el valor de F por efecto de la estacionalidad; NS= no significativo.....	46

## Índice de figuras

- Figura 1.** Localización de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, al sur del estado de Morelos, México. Con un asterisco se indica la ubicación del ejido de Quilamula (Márquez-Torres, 2018) .....22
- Figura 2.** Normales climatológicas (1981- 2010) del estado de Morelos municipio de Tlaquiltenengo (Estación 00017065-Valle de Vázquez; 18°31'45" N, 99°04'12" W, altitud 950 m, CONAGUA) .....23
- Figura 3.** (a) Hábitat conservado en lluvias, (b) hábitat conservado en secas (c) hábitat perturbado en lluvias, (d) hábitat perturbado en secas, (e) intervención máxima: plantaciones en lluvias, (f) plantaciones en secas.....25
- Figura 4.** Diseño experimental donde se muestran los niveles de intervención mínimo y máximo. En cada nivel de intervención se tomarán cuatro submuestras (círculos color negro) que formarán una muestra compuesta de suelo de 0-10 cm de profundidad.....27
- Figura 5.** Diseño experimental basado en el diseño del hábitat en restauración que se aplicó para el hábitat perturbado y la selva conservada (ecosistema de referencia). En cada cuadro se tomaron cuatro submuestras (círculos) para formar una muestra compuesta de suelo de 0-10 cm de profundidad.....28
- Figura 6.** Muestreo de suelo en la temporada de secas (a), lluvias (b). Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad 0-10 cm para todos los hábitats (c), las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Biología Integrativa del CIByC (d).

Concentración de N total en el suelo de cuatro hábitats en la estación seca de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar.....30

**Figura 7.** (a) Tamizado de las muestras de suelo (2) Análisis químicos realizados en el Laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima del Instituto de Ecología de la UNAM.....32

**Figura 8.** Logaritmo natural de la concentración de N total en el suelo de cuatro hábitats de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas evaluadas con la prueba post Hoc de Tukey para n desigual.....38

**Figura 9.** Concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo de cuatro hábitats de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios, las cajas, el error estándar y las líneas el 95 % de los datos.....39

**Figura 10.** Concentración de P total en el suelo de cuatro hábitats de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas evaluadas con la prueba post Hoc de Tukey para n desigual.....41

**Figura 11.** Concentración de pH en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar.....43

**Figura 12.** Concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar.....44

**Figura 13.** Concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar.....45

**Figura 14.** Concentración de Carbono orgánico en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos representan los promedios, las cajas representan los promedios+ el error estándar.....47

## **Índice de Apéndices**

<b>Apéndice 1.</b> Nombre científico, familia y categoría de grupo funcional de seis especies arbóreas nativas de selva estacional establecidas en un experimento de intervención máxima de restauración en Quilamula, Morelos, México.....	67
---	----

## Resumen

El Fondo Mundial para la Naturaleza identificó las selvas estacionales mexicanas como críticamente amenazados en la lista Global de 200 ecorregiones prioritarias. La causa principal de esta lamentable situación es la deforestación ocasionada por el cambio de uso de suelo para la expansión agropecuaria y la mancha urbana. Las intervenciones de restauración ecológica pueden mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo, aumentar la producción de materia orgánica y la concentración de nutrientes. El objetivo de este estudio fue evidenciar el cambio en las concentraciones de nutrientes en el suelo dadas por el proceso de sucesión natural y el efecto temprano de la restauración en la temporada de lluvias y secas del año 2019. Para los análisis químicos se tomaron muestras de suelo compuestas (0-10 cm de profundidad) en cuatro hábitats: nivel de intervención mínima e intervención máxima con dos años de establecimiento, hábitat perturbado por pastoreo de ganado y hábitat conservado en una selva estacional en la comunidad de Quilamula, Morelos. Los resultados mostraron diferencias entre hábitats, el hábitat conservado tuvo las mayores concentraciones de N total, P total y  $\text{NO}_3^-$ . No hubo diferencias entre los niveles de intervención y el hábitat perturbado. En la temporada seca hubo mayores concentraciones de C-orgánico y  $\text{NH}_4^+$ . La temporada de lluvias mostró mayor concentración para  $\text{NO}_3^-$ . El cambio de uso de suelo ha afectado la concentración de nutrientes, para los niveles de intervención se espera que puedan tener un efecto positivo en concentración de nutrientes en el futuro.

## **Abstract**

The World Wildlife Fund (WWF) identified Mexico's seasonal tropical dry forests as critically endangered in the Global List of 200 priority ecoregions. The main cause of this unfortunate situation is deforestation caused by land-use change for agricultural expansion and urban sprawl. Ecological restoration interventions can improve soil physicochemical properties, increase organic matter production and nutrient concentration. The objective of this study was to evidence the change in soil nutrient concentrations given by the natural succession process and the early effect of restoration in the rainy and dry season of 2019. For chemical analyses, composite soil samples (0-10 cm depth) were taken in four habitats: minimum intervention level and maximum intervention with two years of establishment, habitat disturbed by cattle grazing and habitat conserved in a seasonal forest in the community of Quilamula, Morelos. The results showed differences between habitats, the conserved habitat had the highest concentrations of total N, total P and  $\text{NO}_3^-$ . There were no differences between intervention levels and the disturbed habitat. In the dry season there were higher concentrations of C-organic and  $\text{NH}_4^+$ . The rainy season showed higher concentrations for  $\text{NO}_3^-$ . The change in land use has affected the concentration of nutrients, for the intervention levels it is expected to have a positive effect on nutrient concentration in the future.

## Introducción

El suelo es el material no consolidado en la superficie de la tierra que sirve de interfaz de intercambio de nutrientes y recursos hídricos con las plantas (SSSA, 1984). El suelo constituye un recurso natural fundamental que es reactor natural y hábitat de organismos (Sposito, 1989). En el suelo es donde se generan las condiciones microambientales que permiten el establecimiento de la vegetación, la producción primaria neta, la regulación del clima y el agua, el ciclo de nutrientes y el secuestro de carbono (SEMARNAT, 2004). En el suelo existen nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal como son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el carbono (C) (Smith & Smith, 2007). El N es el constituyente esencial de las moléculas fundamentales de todos los seres vivos como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y vitaminas (Smith & Smith, 2007). Así, el N es un macronutriente necesario para el establecimiento de las plantas y además juega un rol crucial en los ciclos biológicos (Cerón- Rincón & Ancízar, 2012). Después del N, el P es el nutriente más requerido por las plantas y los microorganismos (Smith & Smith, 2007). El P interviene en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Smith & Smith, 2007). Este nutriente es más requerido en altas cantidades por las plantas en comparación con otros nutrientes (Jaramillo, 2002). Finalmente, el C orgánico del suelo es el principal elemento que forma la materia orgánica del suelo (Martínez et al., 2008). El C orgánico es esencial para la mineralización de nutrientes, ya que proporciona recursos energéticos a los microorganismos del suelo (Martínez et al., 2008). El suelo es el mayor reservorio de C en la biósfera (FAO, 2011). El N y P son los principales nutrientes en el suelo para el establecimiento y desarrollo

vegetal, mientras que el C-orgánico es esencial para la mineralización y absorción de las nutrientes.

El suelo, como recurso fundamental para el establecimiento de los ecosistemas, se deteriora debido a las actividades antropogénicas como la deforestación y la ganadería (Baer, 2016; Ebrahimi et al., 2016). Para acelerar su recuperación se pueden intervenir mediante acciones de restauración ecológica, que es el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido dañado o destruido (Gann et al., 2019). Para restaurar un ecosistema se pueden usar diferentes niveles de intervención: la intervención mínima involucra detener la perturbación para que se lleve a cabo el proceso de recuperación natural (Stern et al. 2002). Por otra parte, la intervención máxima se refiere al establecimiento de plantaciones (Vázquez-Yanes et al., 1999). Además, las plantaciones de restauración pueden favorecer la recuperación de suelos que fueron perturbados por la agricultura (Marín-Spiotta & Sharma, 2013). El restablecimiento de la vegetación mediante la colonización natural o el establecimiento de plantaciones de restauración puede mejorar la estructura del suelo, aumentar la producción de materia orgánica y activar el ciclaje de nutrientes (Bengtsson, 1998; Roa-Fuentes et al., 2015). Los suelos perturbados por actividades antropogénicas pueden recuperar su función por medio de la intervención de restauración. En ese escenario, este estudio evaluó el efecto temprano de la intervención de restauración en la concentración de N, P y C disponibles en el suelo.

## **Antecedentes**

### **Reducción de la selva estacional**

La selva estacional (*sensu* Dirzo et al., 2011) es uno de los ecosistemas de mayor distribución a nivel global, pero con el tiempo se ha reducido su cobertura. La selva estacional representa aproximadamente el 40% de los trópicos y subtrópicos en todo el mundo (Miles et al., 2006; Portillo-Quintero & Sánchez Azofeifa, 2010). La cobertura de este ecosistema se registra en África, Asia y Oceanía, pero más de la mitad se encuentra en América, donde ha sufrido una reducción de casi el 80% (Miles et al., 2006). La extensión potencial de la selva estacional en América latina y el Caribe era de aproximadamente 1,520,659 km<sup>2</sup>, mientras que la extensión actual es 519,597 km<sup>2</sup>, lo que representa una pérdida del 66% de su cobertura potencial histórica (Portillo-Quintero & Sánchez Azofeifa, 2010; IPBES, 2018). En general, sólo el 0.3% de las selvas estacionales en Mesoamérica y el 10% en el Caribe se encuentran protegidas (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010; IPBES, 2018). La selva estacional ha perdido su extensión, principalmente en el continente americano, debido a la falta de protección.

En México, la cobertura de la selva estacional también se ha visto reducida. En 22 estados de la república mexicana se encuentra el 38% de la selva estacional neotropical restante, lo que constituye aproximadamente el 11.7% de la superficie del país (CONABIO, 2011). El Fondo Mundial para la Naturaleza identificó las selvas estacionales mexicanas como críticamente amenazados en la lista Global de 200 ecorregiones prioritarias (Olson & Dinerstein, 2002). La extensión original de selva estacional en nuestro país para el año 2011 se redujo

un 36.44 %, pasando de 226, 898 km<sup>2</sup> a 164,357 km<sup>2</sup> (CONABIO, 2011). Un poco más del 56 % de la selva estacional en México ha sufrido pérdida de cobertura vegetal y conversión a otros usos de suelo, y sólo el 0.2% está bajo un estatus de protección (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). La causa principal de esta lamentable situación es la deforestación ocasionada por la expansión agropecuaria y urbana (Dirzo et al., 2011). En el estado de Morelos, la tasa de deforestación para la selva estacional fue de 2.6% para el periodo de 1993-2017 (Sorani et al, 2020). Por lo tanto, más del 60% de la vegetación original de selva estacional en Morelos ha sufrido algún tipo de perturbación, y solo el 38% permanece en condiciones forestales con estatus de protección (Sorani et al, 2020). La presión hacia la selva estacional es tan fuerte que la vegetación original ha sufrido tasas de perturbación mayores al 50% en México y del 60 % en Morelos.

Las actividades agropecuarias y el cambio de uso de suelo afectan la selva estacional. En México, el agente de perturbación con mayor presencia en todos los ecosistemas es la ganadería extensiva, seguido de la fragmentación del hábitat (Méndez-Toribio et al., 2018). En las selvas estacionales de Morelos, el cambio de uso de suelo, la ganadería extensiva y la extracción de madera son las principales fuentes de perturbación (Sotelo-Caro et al., 2020). Una buena parte de la selva estacional de Morelos se encuentra en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (REBIOSH) donde también ha sufrido una reducción importante; las causas de esta reducción han sido: (i) el cambio de uso de suelo de selva a pastizales para la ganadería extensiva, (ii) la deforestación generada para la apertura de nuevas

áreas agrícolas (Valenzuela-Galván et al., 2010) y, (iii) la extracción selectiva de plantas y animales para satisfacer necesidades básicas de salud, alimentación, vivienda y construcción (Maldonado et al., 2013). Las actividades agropecuarias y la extracción selectiva de recursos naturales son las principales causas de perturbación en la selva estacional de Morelos.

### **Impactos de las actividades agropecuarias en el suelo**

El suelo de la selva estacional es deteriorado a causa de las actividades agropecuarias. La formación de los suelos involucra miles de años, pero su deterioro, algunas veces irreversible, puede realizarse en periodos cortos (SEMARNAT, 2004). El deterioro de los suelos puede tener como consecuencia afectaciones en la calidad del suelo (Ortíz-Solorio et al., 1994). Desde una perspectiva ecológica, la calidad del suelo es la capacidad que tiene el suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado (OECD, 2003). Para evaluar la calidad del suelo se utilizan indicadores relacionados a sus propiedades físicas, químicas y biológicas (OECD, 2003). Por ejemplo, la conversión del uso del suelo a actividades agropecuarias produce cambios en las propiedades físicas del suelo, como la densidad aparente (Murthy et al., 2002). La densidad aparente es el espacio ocupado por los poros al cuantificar el volumen de la muestra y la organización que presenta la fracción sólida (Bowles, 1982). Una densidad aparente alta es un indicador físico del deterioro y compactación del suelo (FAO-ITPS 2020). Varios estudios en la selva estacional han encontrado que la densidad aparente del suelo en áreas con ganaderías aumenta entre 15 y

25 % en comparación con la densidad de los suelos en la selva conservada (Jara et al., 2009; Fuentes-Hernández et al., 2019; Tripathi & Singh, 2009). La conversión de selva a tierras agropecuarias da como consecuencia el aumento de la densidad aparente, lo que indica una alta compactación de los suelos. La perturbación del suelo por consecuencia de las actividades agropecuarias también afecta las propiedades químicas del suelo. El cambio de uso de suelo de selva a pastizales ganaderos induce cambios en el pH y en la acumulación de carbono orgánico (C-orgánico) mientras que provoca la pérdida de nutrientes como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) (García-Oliva et al., 2006). Por ejemplo, en una selva estacional de Guerrero México, se encontró una disminución del 62% de C-orgánico en suelos agropecuarios comparados con los de la selva conservada mientras que el pH no cambio (Fuentes-Hernández et al., 2019). Otro estudio en una selva estacional de la India reportó una disminución del 51% para el C-orgánico, un 31% para N y P total en suelos bajo pastoreo comparados con suelos forestales (Tripathi & Singh, 2009). En otro estudio realizado en una selva estacional en la India se reportó un pH más ácido en los pastizales (5.9) y una disminución de tres veces de C- orgánico, dos veces N Total y un 37% para P total en comparación con el bosque natural (Tiwari et al., 2019). También, en una selva estacional de Costa Rica, reportaron una disminución de C- orgánico del 17%, una disminución del 38% del N total en suelos bajo pastizales en comparación con los suelos de la selva madura (Johnson & Wedin, 1997). Finalmente, en una selva estacional en Brasil se reportó una disminución del pH de suelos degradados debido a la agricultura (5.8) en comparación con áreas con vegetación (6.3; Da Silva et al. 2021). La conversión de la selva estacional a pastizales para realizar

actividades agropecuarias puede provocar la acidificación del suelo y disminuir el C-orgánico y el N y P totales.

### **Efecto de la estacionalidad en la entrada de nutrientes al suelo**

La disponibilidad de nutrientes al suelo en la selva estacional depende de la presencia de humedad en el suelo. La limitación de nutrientes en los trópicos estacionales está relacionada con la limitación de agua; durante la estación seca, no hay absorción de nutrientes por parte de la planta debido a que no está creciendo (Campo et al., 2007). Las tasas de descomposición de la hojarasca y de mineralización también son bajas durante la estación seca debido a la baja humedad del suelo y a la disminución de la actividad microbiana asociada a este proceso (Martínez-Yrizar, 1995). Así, los nutrientes se acumulan en el suelo durante la estación seca debido a la reducción en la lixiviación, las bajas tasas de descomposición, la mínima renovación microbiana y la poca absorción de las plantas (Jaramillo & Sanford 1995). Durante la estación de lluvias, el ciclo de los nutrientes en el suelo se reanuda a medida que los nutrientes se liberan, por medio de la descomposición de la hojarasca por los microorganismos (Jaramillo & Sanford 1995). En la estación seca se detienen muchos procesos del ciclo de nutrientes en el suelo que se reanudan cuando la estación de lluvias comienza.

Dado el contraste entre la estación seca y lluviosa, las condiciones y la acumulación de nutrientes en el suelo pueden diferir. Por ejemplo, en Chamela, Jalisco, México, en plantaciones de *Lonchocarpus eriocarinalis* (Fabaceae) y bajo acolchados orgánicos se registró que el pH era más ácido durante la estación

seca (Barajas-Guzmán et al. 2006). También en Chamela, en los suelos de pastizales y los de la selva conservada se registró que las concentraciones de C orgánico y N total fueron más altas en la estación de secas (García-Oliva et al., 2006). Además, en una selva estacional de la India, las concentraciones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) disponible fueron más altos durante la estación seca (Tripathi & Singh, 2009). Por otra parte, en un experimento, también en la India se registraron mayores concentraciones de N total, P total y C-orgánico en la estación seca (Singh et al., 2018). En la selva estacional de Sierra de Huautla, Morelos hubo una mayor acumulación de  $\text{NH}_4^+$  y P disponible en la capa superior del suelo en áreas sin vegetación y en suelos bajo árboles remanentes en la estación seca (Jara et al., 2009). También, en esa misma localidad, en suelos de áreas sucesionales tempranas se registraron mayores concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en la estación seca (Saynes et al., 2005). Aunque la estacionalidad sea un factor limitante en el ciclaje de nutrientes, no siempre el efecto es observado; por ejemplo, en una selva estacional de Morelos, México se registró que las concentraciones de P total en suelos bajo sucesión natural no variaron entre lluvias y secas (Valdespino et al., 2008). Las evaluaciones del suelo en este ecosistema han reportado mayores acumulaciones de las concentraciones de C-orgánico, N total,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  y, un pH más ácido en la estación seca, mientras que no siempre se reportan cambios en el P total entre estaciones.

## **Sucesión natural en la selva estacional**

Los hábitats perturbados pueden recuperarse de manera natural. La sucesión natural es el cambio temporal en la composición, estructura y funciones de un ecosistema después de una perturbación (Finegan, 1984). La sucesión se divide en dos etapas: la sucesión primaria que ocurre en sitios sin vegetación previa y la sucesión secundaria que ocurre en sitios donde previamente se encontraba vegetación que fue eliminada o removida por eventos de disturbio (Finegan, 1984; Smith & Smith, 2007). Durante la sucesión secundaria ocurre una transición a una etapa de sucesión temprana cuando llegan las primeras especies, llamadas por eso, sucesionales tempranas (Connell & Slatyer, 1977); estas especies presentan un crecimiento rápido y una longevidad vida corta (Smith & Smith, 2007). La sucesión tardía se refiere al recambio de las especies sucesionales tempranas por las llamadas especies sucesionales tardías; las sucesionales tardías presentan crecimiento lento y larga longevidad; estas son las especies que dominan en la selva más conservada (Kennard, 2002). En sitios perturbados, las especies sucesionales tempranas modifican las condiciones microclimáticas que favorecen el establecimiento de las especies sucesionales tardías (Modelo 1 de Facilitación; Connell y Slatyer, 1977; Brown y Lugo, 1990). También es posible que las especies tempranas y las tardías lleguen al mismo tiempo y que las tardías sean dominantes cuando las tempranas mueran (Modelo 2 Tolerancia; Connell y Slatyer, 1977). Después de una perturbación se da el proceso de recuperación natural, llamado sucesión natural.

Durante el proceso de sucesión natural cambian la concentración de nutrientes en el suelo. En una selva estacional de Morelos, México, las concentraciones de N total fueron mayores en suelos después de 10 años de sucesión (sucesión temprana) que en suelos después de 60 años de sucesión (sucesión tardía) y los depósitos de N mineral ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) también fueron más bajos en los suelos de sucesión tardía (Saynes et al., 2005). En otro estudio en esa misma localidad, las concentraciones de C-orgánico y P total fueron mayores en suelos después de 60 años; los suelos perturbados tuvieron las concentraciones más bajas de esos nutrientes (Jara et al., 2009). Por otra parte, en una selva estacional de Yucatán, México, la concentración de P total fue mayor en suelos después de 60 años de sucesión en comparación con suelos después de 10 años de sucesión (Campo et al., 2012); los suelos bajo sucesión temprana tuvieron mayores concentraciones de C- orgánico y N total (Campo et al., 2012). En la selva estacional de Jalisco, México reportaron que la concentración de N y P totales fue aumentando con el tiempo sucesional de 5 años hasta 50 años (Gabito et al., 2020). En un estudio en una selva estacional de Tailandia, las concentraciones de C-orgánico y N total fueron similares bajo suelos de sucesión temprana (< 30 años) y tardía (> 30 años; Ueda et al., 2017). Los estudios disponibles muestran resultados contrastantes sobre los cambios en el N total y el C orgánico con el tiempo de sucesión mientras que, para el P, siempre se ha reportado un aumento en las concentraciones con el tiempo de sucesión.

## **Restauración ecológica**

Ante la nula o lenta sucesión natural es necesario recurrir a la restauración ecológica. Para proteger la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos, así como para frenar y revertir la perturbación de los ecosistemas es primordial restaurar las tierras degradadas (Coppus et al., 2019). La ecología de la restauración es la ciencia que aporta conceptos, metodologías y herramientas para la intervención de la restauración (SER, 2007). Existen diferentes niveles de intervención que dependen de las metas de la restauración y los recursos disponibles (SER, 2007). La intervención mínima de restauración implica eliminar la perturbación (p. ej. la exclusión del ganado) para permitir la activación del proceso de sucesión natural (Martínez-Garza et al., 2016; Ebrahimi *et al.*, 2016). La siembra directa y la remoción de competidores son consideradas actividades de intervención intermedia (Martínez-Garza et al., 2016). El establecimiento de plantaciones es considerado un nivel de intervención máximo ya que pueden eliminar distintas barreras bióticas y abióticas para que comience y/o se acelere la sucesión natural (Vázquez-Yanes et al., 1999). Además, las plantaciones pueden favorecer la recuperación de suelos porque promueven el secuestro de C, la conservación de nutrientes, así como el ciclaje de nutrientes (Baer, 2016; Marín-Spiotta & Sharma, 2013). Cuando se establecen árboles se modifica el microclima y también los factores físicos, químicos y biológicos asociados al suelo; por ejemplo, la temperatura disminuye y la humedad aumenta (Galicia & García-Oliva, 2004). También, en un estudio en una selva estacional de Morelos se encontró un aumento en la concentración de C-orgánico en el suelo después de dos años del establecimiento de plantaciones de restauración (Carrasco-Carballido et al., 2019).

En un estudio en la selva estacional de la India, en una plantación de 4 años con tres especies se registró un aumento en las concentraciones de C orgánico, N y P totales en el suelo (Oraon et al., 2014). La intervención de restauración puede favorecer la recuperación de los suelos que han sido degradados. En la selva estacional no se tienen estudios de las propiedades del suelo en sitios bajo intervención de restauración con respecto a sitios conservados y perturbados; por lo tanto, este trabajo evaluará las propiedades y fertilidad del suelo en sitios conservados, perturbados y bajo intervención de restauración tomando en cuenta la estacionalidad.

### **Objetivo general**

Evaluar la fertilidad del suelo (materia orgánica, nitrógeno y fósforo) en cuatro hábitats: perturbado, restaurados de 2 años (plantaciones y sucesión natural) y selva conservada en Quilamula, Morelos.

### **Objetivos Particulares**

1. Evaluar el pH, la concentración carbono orgánico, nitrógeno total, nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo total en el suelo en cuatro hábitats.
2. Evaluar el pH, la concentración de carbono orgánico, nitrógeno total, nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo total en la estación de secas y de lluvias.

## **Hipótesis y Predicciones**

En la selva estacional el cambio de uso de suelo por actividades agropecuarias modifica negativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo mientras que la intervención de restauración puede favorecer la recuperación de estas propiedades; además, estas propiedades se ven modificadas por la estacionalidad característica de este ecosistema.

1. Con las actividades agropecuarias, las concentraciones de C-orgánico, nitrógeno total e inorgánico y fósforo total en el suelo disminuyen mientras que el pH se vuelve más ácido; estas propiedades se recuperan con la intervención de restauración.
2. La concentración de carbono orgánico, fosforo y nitrógeno total e inorgánico en el suelo son mayores en la estación seca que en la estación lluviosa; el pH es más ácido en la estación seca.

## **Metodología**

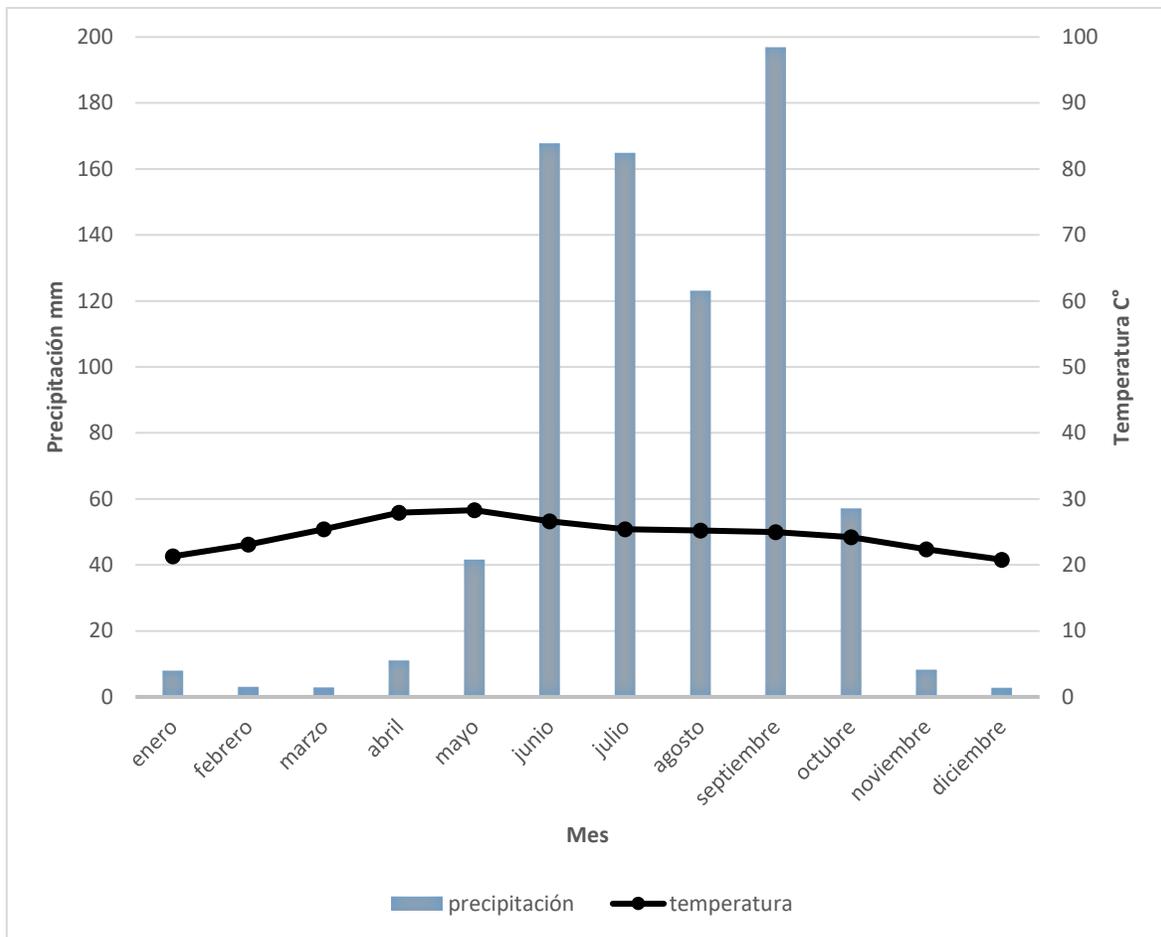
El estudio se desarrolló en terrenos de uso ganadero en el ejido de Quilamula, municipio de Tlaquiltenango, Morelos, que se encuentra a 1,070 m snm, Longitud: 18° 30' 37" Latitud: -99° 01' 10". Este ejido se encuentra en los límites de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBISOH), al sur del estado de Morelos (Figura 1). El tipo de vegetación dominante de la zona corresponde a selva estacionalmente seca (Dirzo et al., 2011) también llamada selva baja caducifolia

(*sensu* Miranda & Hernández-X, 1963). Las especies de árboles más comunes en la selva conservada son: *Conzattia multiflora*, *Lysiloma acapulcense*, *L. divaricatum* (Fabaceae) así como también varias especies de los géneros *Bursera* (Buseraceae) y *Ceiba* (Malvaceae) (Dorado et al., 2005). Estos árboles pueden llegar a tener una altura promedio de 15 m con un diámetro a la altura de pecho sobrepasando los 50 cm, los troncos son regularmente retorcidos y se ramifican a una corta altura (Rzedowski, 1978; Trejo y Hernández, 1996). El substrato geológico está conformado por rocas ígneas del Oligoceno Mioceno, sedimentarias del Cretáceo Inferior, litológicamente clasificadas como calizas y depósitos marinos interestratificados de areniscas y lutitas del Cretáceo Superior (Lugo-Hubp, 1984). Los suelos dominantes para la REBIOSH son feozem háplicos, regosoles éutricos y litosoles (INEGI, 1981)

El clima está clasificado como cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con lluvias en verano y presencia de canícula (Awo"(w)(i') g). Aquí hay una época de secas que dura de entre cinco a ocho meses y otra época de lluvias que va del mes de mayo a noviembre; en la época seca la mayoría de los árboles pierden sus hojas (Rzedowski, 1978). La temperatura media anual es de 22.7°C y la precipitación anual de 911.4 mm (1962–2015; CONAGUA, 2015) donde cerca del 90% de la precipitación se registra entre finales del mes de mayo y el mes de octubre (Dorado et al., 2002; Figura 2)



**Figura 1.** Localización de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, al sur del estado de Morelos, México. Con un asterisco se indica la ubicación del ejido de Quilamula (Márquez-Torres, 2018).



**Figura 2.** Normales climatológicas (1981- 2010) del estado de Morelos municipio de Tlaquiltenengo (Estación 00017065-Valle de Vázquez; 18°31'45" N, 99°04'12" W, altitud 950 m, CONAGUA).

## **Diseño experimental**

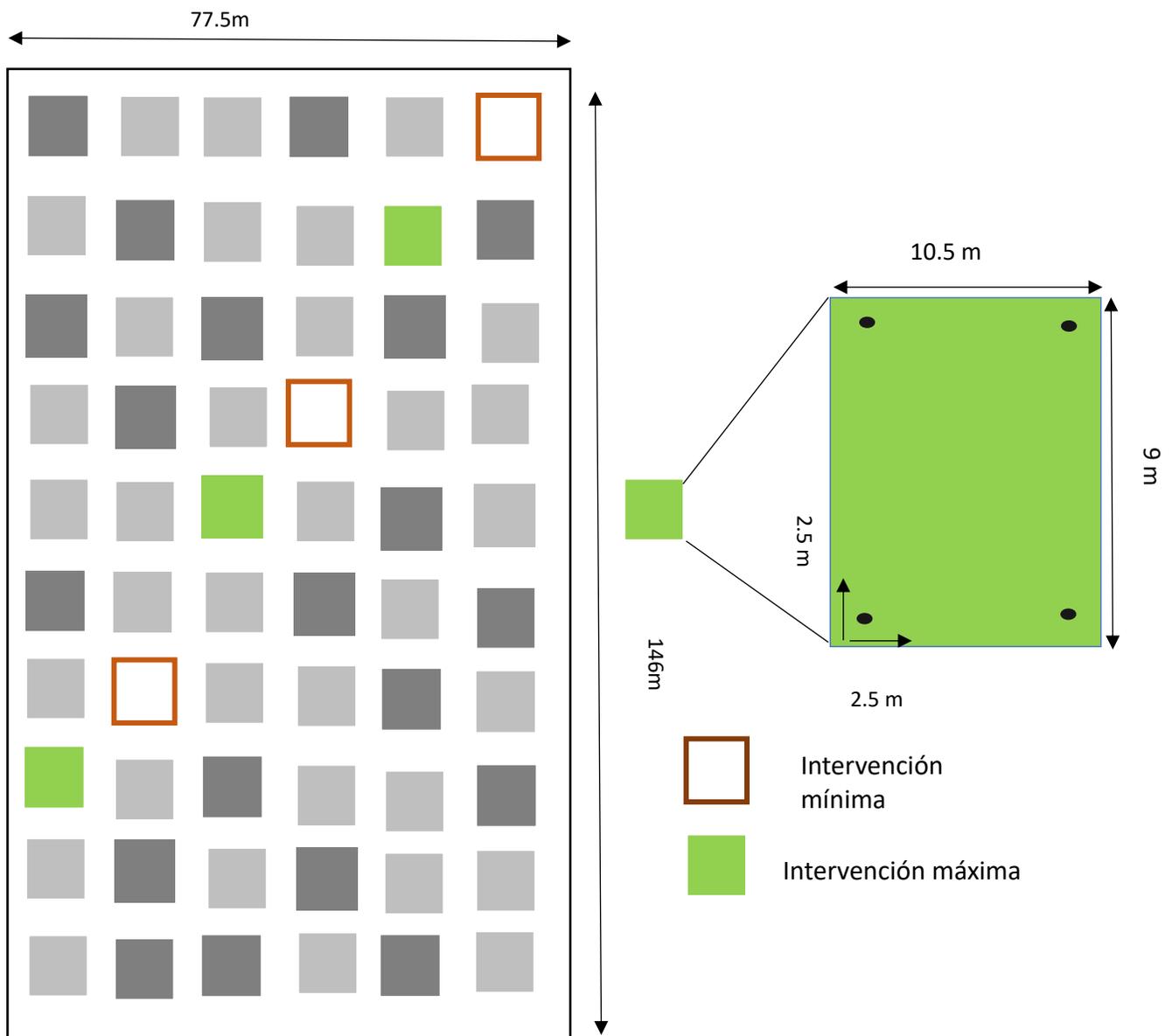
Este estudio se insertó en un proyecto de restauración ecológica experimental llamado "*Recuperación de servicios ecosistémicos con plantaciones mixtas*" a cargo del M. en C. José Flavio Márquez Torres establecido en julio de 2017 en un terreno con historia de uso ganadero de 77.5 m X 149 m. El diseño consta de 60 parcelas en bloques completos al azar. El terreno se cercó con alambre de púas a cuatro niveles para evitar el paso del ganado bovino. Hay tres bloques, cada uno con 20 parcelas; cada parcela mide 9 x 10 m. Las parcelas tienen una separación entre ellas de 3 m hacia lo largo y de 2.5 m hacia lo ancho. En julio de 2017, dentro de cada parcela se plantaron 30 juveniles de árboles nativos de la selva estacional. Las plantas se establecieron con una separación de 1.5 m entre ellas en una disposición de cinco filas por seis columnas. La edad de las plantas fue de aproximadamente un año y provinieron de los viveros forestales de las localidades de Huajintlán y Ajuchitlán pertenecientes a la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos (Márquez-Torres y Martínez-Garza 2021).

El total de plantas establecidas en el diseño experimental fue de 1710 plantas. Para este estudio se consideran dos tratamientos con dos niveles de intervención de restauración: (1) plantaciones de seis especies, tres leguminosas y tres especies no leguminosas, al que llamaremos "intervención máxima" (Apéndice 1; Figura 3) y (2) exclusiones sin plantación, al que llamaremos "intervención mínima". La distribución espacial de los tratamientos fue de seis parcelas pareadas y cada tratamiento tuvo tres réplicas (Figura 4).

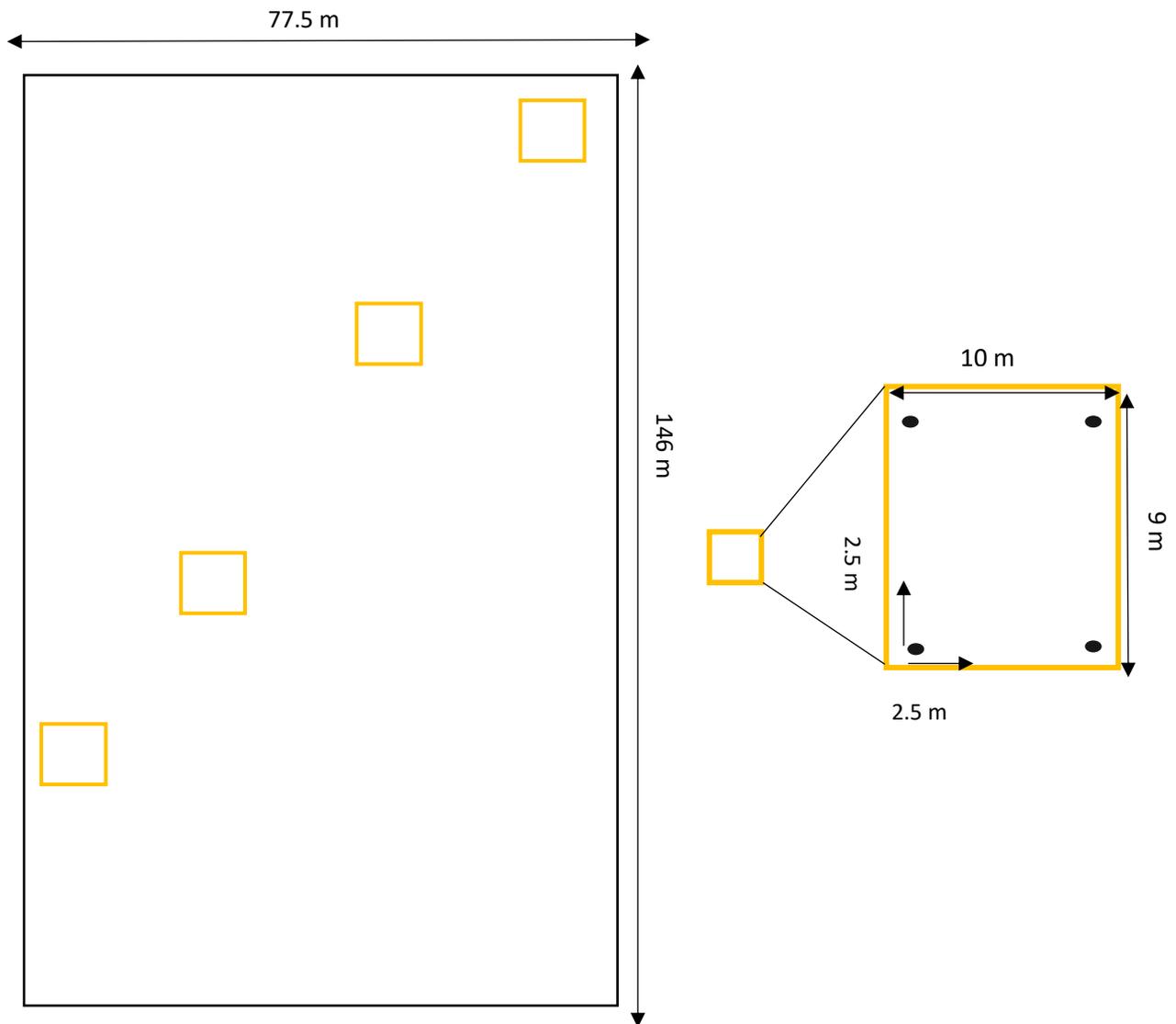


**Figura 3.** (a) Hábitat conservado en lluvias, (b) hábitat conservado en secas (c) hábitat perturbado en lluvias, (d) hábitat perturbado en secas, (e) intervención máxima: plantaciones en lluvias, (f) plantaciones en secas.

Además de la comparación entre los dos niveles de intervención de restauración se seleccionaron dos hábitats: un ecosistema de referencia llamado “hábitat conservado” y un hábitat bajo actividades de ganadería activa que llamaremos “hábitat perturbado” (Figura 5). Para la selección de hábitats se tomó en cuenta el conocimiento de Don Evodio Rendón habitante de la comunidad de Quilamula, quien fue nuestro informante clave dentro de la comunidad. A Don Evodio le solicitamos ayuda para buscar parcelas que tuvieran un área y pendiente (16°) similar a los del hábitat bajo intervención de restauración. En el mes de enero de 2019 hicimos los recorridos para la selección de los hábitats. Para el hábitat perturbado el terreno presentó las condiciones necesarias de pendiente y área. El uso de suelo que tenía el hábitat perturbado fue de 15 años de ganadería. Para el hábitat de selva conservada, Don Evodio nos llevó a un sitio aislado de los pastizales donde los propietarios no han desmontado ni permitido el ingreso de ganado; este sitio tiene árboles de selva estacional madura. El diseño experimental para los hábitats conservado y perturbado fue el mismo que el usado en el hábitat en restauración: un terreno de 77.5 m X 149 m y seis parcelas pareadas 9 x 10 m (Figura 3).



**Figura 4.** Diseño experimental donde se muestran los niveles de intervención mínimo y máximo. En cada nivel de intervención se tomarán cuatro submuestras (círculos color negro) que formarán una muestra compuesta de suelo de 0-10 cm de profundidad.



**Figura 5.** Diseño experimental basado en el diseño del hábitat en restauración que se aplicó para el hábitat perturbado y la selva conservada (ecosistema de referencia). En cada cuadro se tomaron cuatro submuestras (círculos) para formar una muestra compuesta de suelo de 0-10 cm de profundidad.

## **Muestreo de suelo**

La toma de muestras de suelo se realizó en dos ocasiones, un muestreo se realizó a finales del mes de marzo de 2019 (Figura 6a), representando la temporada de secas y el otro a inicios del mes de octubre de 2019 (Figura 6b), representando la temporada de lluvias. Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad 0-10 cm para todos los hábitats (Figura 6c). Para ambos muestreos se colectaron cuatro submuestras de suelo por parcela, una submuestra por cada vértice a una distancia de 2.5 metros del inicio de la parcela (secas) y a 3 metros (lluvias), esto para evitar muestrear el mismo punto. Una vez que se tuvieron las cuatro submuestras de suelo, se mezclaron para formar una muestra compuesta de suelo por parcela. En el caso de la selva conservada y el hábitat perturbado se realizó el mismo diseño de muestreo que en el aplicado en los niveles de intervención (ver Figura 4), con la modificación de la adición de una parcela más. Dando un total de 14 muestras compuestas de suelo por cada muestreo, tres muestras para la intervención mínima, tres para la intervención máxima, cuatro para el hábitat perturbado y cuatro para el hábitat conservado, teniendo un total de 28 muestras compuestas de suelo por las dos estaciones (Figura 6d).

(a)



(b)



(c)



(d)



**Figura 6.** Muestreo de suelo en la temporada de secas (a), lluvias (b); (c) las muestras de suelo se tomaron a una profundidad 0-10 cm para todos los hábitats; (d) las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Biología Integrativa del CIByC.

## **Análisis químicos de suelo**

Las 28 muestras compuestas de suelo correspondientes a la temporada de secas y lluvias tomadas en el mes de marzo y octubre fueron homogeneizadas manualmente en el laboratorio y fueron tamizadas (malla 2 mm; Figura 7a). Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima del Instituto de Ecología de la UNAM (Figura 7b). De cada muestra compuesta de suelo se determinaron las siguientes características:

- ◆ pH en agua destilada (Robertson *et al.* 1999)
- ◆ C orgánico: método de Walkley y Black por oxidación con ácido crómico  $K_2Cr_2O_4$  (Anderson e Ingram 1993)
- ◆ N total: digestión ácida con ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  (Sollins *et al.* 1999) y el análisis colorimétrico en un sistema automatizados Braun Luebbe (Technicon Industrial Systems 1977)
- ◆ N inorgánico (nitrato y amonio): extracción con KCl (Sollins *et al.* 1999) y el análisis colorimétrico en un sistema automatizados Braun Luebbe (Technicon Industrial Systems 1977)
- ◆ P total: digestión ácida con ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  (Sollins *et al.* 1999) y el análisis colorimétrico en un sistema automatizados Braun Luebbe (Technicon Industrial Systems 1977)

Para la evaluación del pH se pesaron 10 g de suelo. Los 10 g de suelo fueron depositados en recipientes pequeños de plástico. A cada recipiente se le adicionaron 25 ml de agua destilada. Después, los recipientes fueron agitados por

media hora. Por último, a cada recipiente se le tomó lectura de pH utilizando el potenciómetro.

(a)



(b)



**Figura 7.** (a) Tamizado de las muestras de suelo (2) Análisis químicos realizados en el Laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima del Instituto de Ecología de la UNAM.

Para el análisis de C orgánico se pesaron 0.25 g de cada muestra de suelo y se colocaron en un matraz Erlenmeyer. Posteriormente dentro de una campana de extracción se añadieron 5 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico. Al mismo tiempo se prepararon dos soluciones blanco, que no contenían suelo. En seguida se inició con el proceso de titulación de las muestras. A las muestras se les agregaron 5 gotas de indicador de difenilamina. Posteriormente las muestras se les fueron agregando sulfato ferroso hasta que cambió de color verde muy oscuro a verde esmeralda. Este mismo procedimiento se realizó para las soluciones blancas.

La evaluación de N y P total comprende dos etapas: la digestión y la destilación. Para realizar la digestión se pesó 0.5 g de cada muestra de suelo y se colocaron en tubos de ensaye. Dentro de una campana de extracción a cada tubo se le adicionó 2 g de mezcla de catalizadores y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente se colocaron los tubos en la cámara de digestión ácida. Al término de la digestión los tubos se dejaron enfriar. Para realizar la destilación se añadió 25 ml de agua destilada al tubo, se tapó con un corcho y se mezcló vigorosamente hasta una disolución completa. Después, el contenido se filtró con papel filtro colocando el contenido en viales para su posterior lectura en el espectrofotómetro.

Para preparar las muestras para la evaluación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  se pesó por duplicado 10 g por cada muestra de suelo. Después, los 10 gr de suelo se colocaron en matraces Erlenmeyer. Luego se preparó una solución con 149 g de cloruro de potasio y 900 ml de agua destilada. La solución se agitó hasta lograr una mezcla homogénea y se aforó a un litro. A cada muestra de suelo se le

agregaron 50 ml de la solución de cloruro de potasio. Posteriormente, las muestras se mezclaron en un agitador mecánico a la intensidad máxima por 30 minutos. Por último, se filtraron las muestras con papel filtro de 125 mm, el líquido filtrado se colocó en viales para su posterior lectura en el espectrofotómetro.

### **Análisis Estadísticos**

Los efectos de los hábitats (niveles de intervención mínima y máxima, hábitat perturbado, hábitat conservado) y los efectos del periodo de muestreo (secas y lluvias) fueron evaluados con un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías. Así mismo como el hábitat perturbado y el hábitat conservado. Para los casos que tuvieron diferencias significativas se realizó la prueba post Hoc de Tukey (HSD) de  $n$  desigual. Para poder cumplir con los supuestos que asume el ANOVA (Zar, 1999), las concentraciones de Carbono orgánico y  $\text{NO}_3^-$  se transformaron con la función logaritmo natural ( $\log_{\text{concentracion N total}}$ ). En los casos en que los datos no cumplieron con el requisito de la normalidad, ni pudieron ser normalizados lo cual ocurrió para las variables (C-orgánico y  $\text{NO}_3^-$ ) se realizó un análisis de Kruskal-Wallis. En la sección de resultados se muestran las medias de concentración ( $\pm$  error estándar) transformadas a sus unidades originales para mayor claridad. Todos los análisis se realizarán el programa de STATISTICA 12.0.

## Resultados

### Efecto hábitat

En promedio, para los cuatro hábitats, el pH del suelo bajo solución acuosa fue de  $5.67 \pm 0.07$ . El análisis de varianza (ANOVA) mostró que no hubo diferencias significativas entre los hábitats ( $F_{(3,20)} = 1.11$ ,  $p > 0.36$ ; Tabla 1).

En promedio, la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo del hábitat conservado fue 26 % mayor ( $16.29 \pm 2.64 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que en el hábitat perturbado ( $12.91 \pm 2.64 \mu\text{g N g}^{-1}$ ), 31% mayor que en el hábitat de intervención mínima ( $12.04 \pm 3.05 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) y 8 % mayor que en el hábitat de intervención máxima ( $15.06 \pm 3.05 \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo fue estadísticamente similar entre hábitats  $F_{(3, 20)} = 0.46$ ,  $p > 0.71$ ; Tabla 1).

**Tabla 1.** Promedio  $\pm$  un error estándar del pH y el  $\text{NH}_4^+$  del suelo (0-10 cm de profundidad) de cuatro hábitats de una selva estaciona de Quilamula, Morelos. Se indica el valor de F por efecto del hábitat; NS= no significativo

Variables	Hábitats				F <sub>(3,20)</sub>
	Perturbado	mínima	máxima	Conservado	
pH (H <sub>2</sub> O)	$5.9 \pm 0.06$	$5.8 \pm 0.07$	$5.9 \pm 0.07$	$5.09 \pm 0.06$	1.11 NS
$\text{NH}_4^+(\mu\text{g N g}^{-1})$	$15.06 \pm 2.64$	$12.4 \pm 3.05$	$15.06 \pm 3.05$	$16.29 \pm 2.64$	0.46 NS

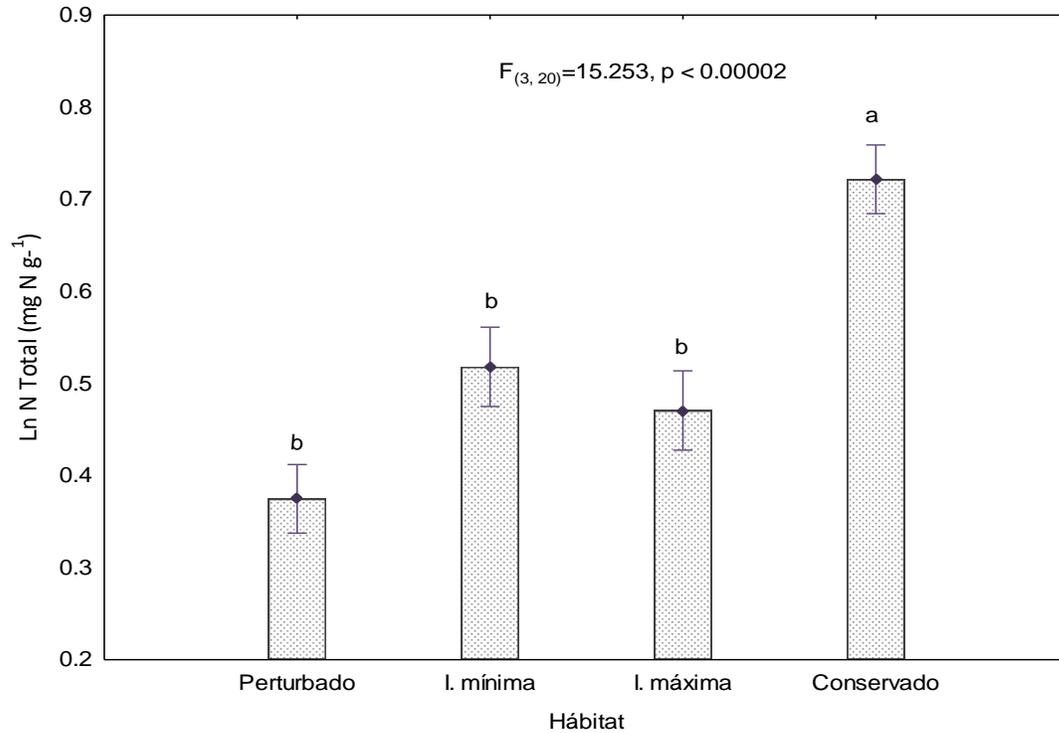
En promedio, la concentración de N total en el suelo del hábitat conservado fue 2.1 veces mayor ( $5.32 \pm 0.30 \text{ mg N g}^{-1}$ ) que en el hábitat perturbado ( $2.44 \pm 0.34 \text{ mg N g}^{-1}$ ), 50 % mayor que el hábitat de intervención máxima ( $3.42 \pm 0.19 \text{ mg N g}^{-1}$ ) y 77% mayor que el hábitat de intervención mínima ( $2.99 \pm 0.34 \text{ mg N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de N total en el suelo fue estadísticamente diferente entre hábitats ( $F_{(3, 20)} = 15.25, p < 0.00001$ ). La prueba post Hoc de Tuckey para n desiguales mostró que el hábitat conservado tuvo una concentración de N total diferente al hábitat perturbado y a los hábitats de intervención mínima y máxima (Figura 8).

En promedio, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo del hábitat conservado fue 6.9 veces mayor ( $13.16 \pm 1.09 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que en el hábitat perturbado ( $1.90 \pm 2.39 \mu\text{g N g}^{-1}$ ), 70% mayor que en el hábitat de intervención mínima ( $7.71 \pm 1.25 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) y 2 veces mayor que en el hábitat de intervención máxima ( $6.54 \pm 1.25 \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El análisis de Kruskal-Wallis mostró que la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo fue estadísticamente diferente entre hábitats ( $H_{(3, 28)} = 8.97, p < 0.029$ ; Figura 9).

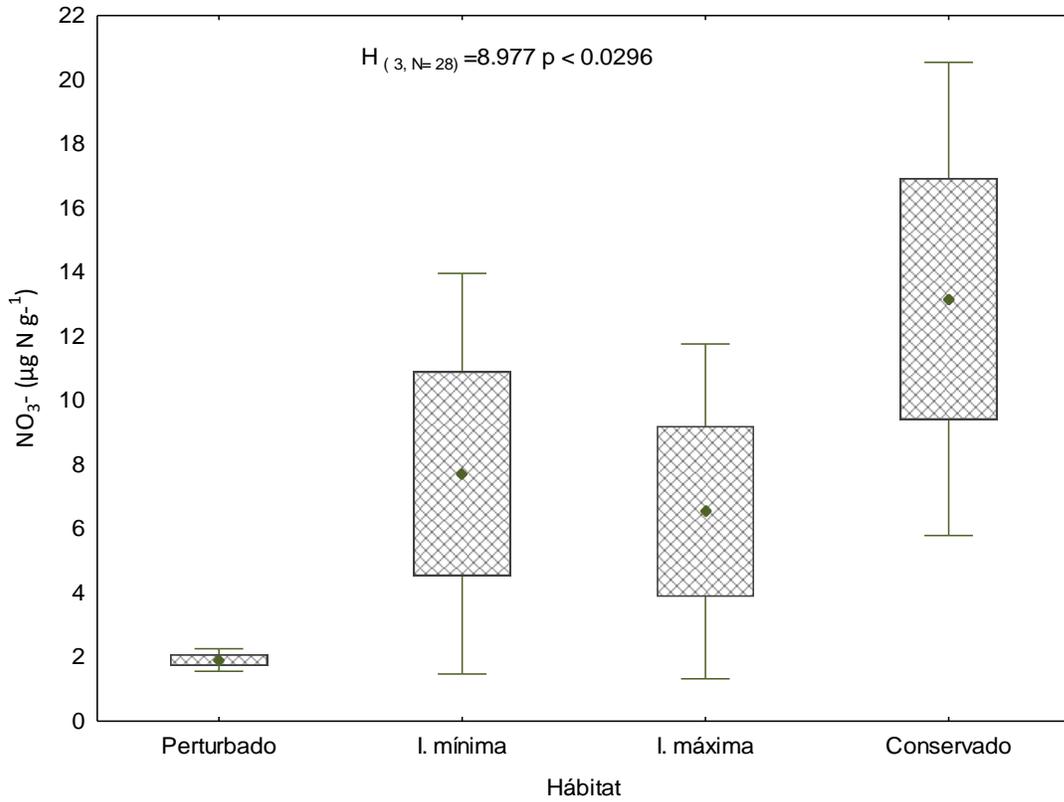
En promedio, la concentración de C-orgánico en el suelo del hábitat conservado fue 96 % mayor ( $47.76 \pm 5.65 \text{ mg C g}^{-1}$ ) que en el hábitat perturbado ( $24.34 \pm 5.65 \text{ mg C g}^{-1}$ ), 39 % mayor que en el hábitat de intervención mínima ( $34.26 \pm 6.53 \text{ mg C g}^{-1}$ ) y 91% mayor que en el hábitat de intervención máxima ( $24.89 \pm 6.53 \text{ mg C g}^{-1}$ ). El análisis Kruskal-Wallis mostró que la concentración de Carbono orgánico en el suelo fue estadísticamente similar entre hábitats ( $H_{(3, 28)} = 5.02, p > 0.17$ ; Tabla 2)

**Tabla 2.** Mediana  $\pm$  desviación estándar del C-orgánico del suelo (0-10 cm de profundidad) de cuatro hábitats de una selva estaciona de Quilamula, Morelos. Se indica el valor de H por efecto del hábitat; NS= no significativo

Variables	Hábitats				H (3,28)
		Intervención			
	Perturbado	mínima	máxima	Conservado	
C-orgánico mg C g <sup>-1</sup>	27.06 $\pm$ 12.18	33.13 $\pm$ 11.56	26.18 $\pm$ 4.45	42.29 $\pm$ 6.52	5.02 NS

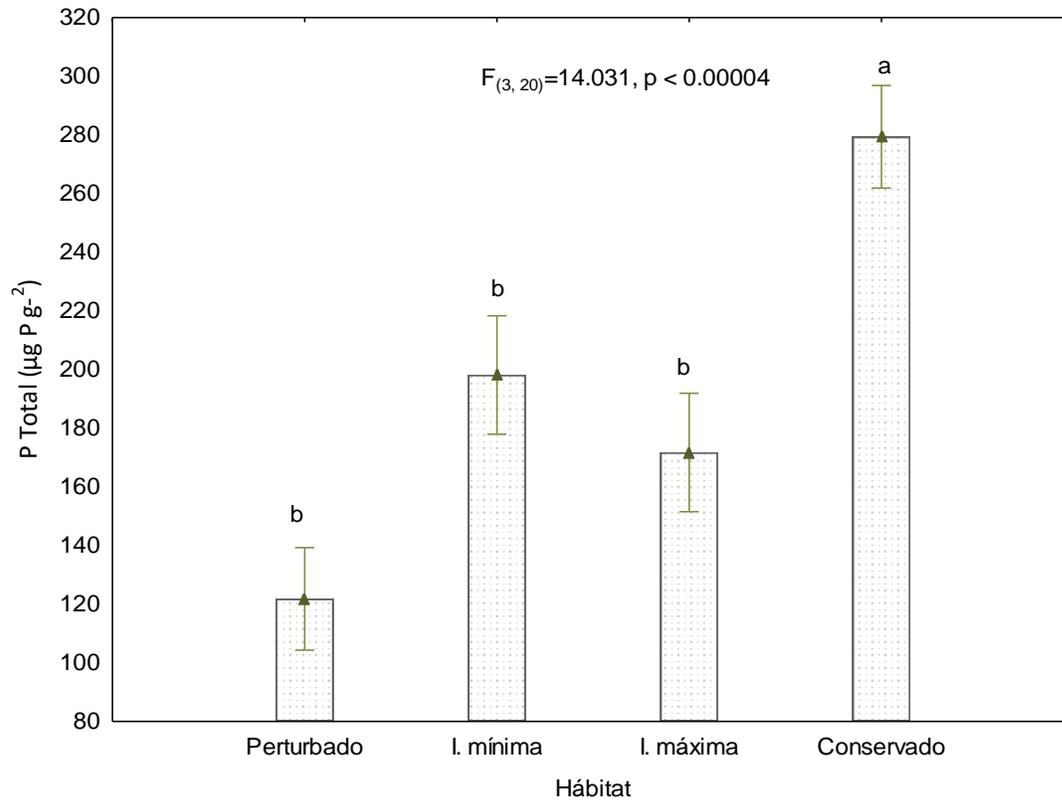


**Figura 8.** Logaritmo natural de la concentración de N total en el suelo de cuatro hábitats de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas evaluadas con la prueba post Hoc de Tukey para n desigual.



**Figura 9.** Concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo de cuatro hábitats de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios, las cajas, el error estándar y las líneas el 95 % de los datos.

En promedio, la concentración de P total en el suelo del hábitat conservado fue 2.3 veces mayor ( $279 \pm 17.49 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que en el hábitat perturbado ( $121 \pm 17.49 \mu\text{g N g}^{-1}$ ), 40 % mayor que en el hábitat de intervención mínima ( $198 \pm 20.20 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) y 63 % mayor que en el hábitat de intervención máxima ( $171 \pm 20.20 \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de P total en el suelo fue estadísticamente diferente entre hábitats ( $F_{(3, 20)} = 14.03$ ,  $p < 0.00001$ ). La prueba post Hoc de Tuckey para n desiguales mostró que el hábitat conservado tuvo una concentración de P significativamente a la de los otros tres hábitats, que tuvieron concentraciones de P estadísticamente similares entre sí (Figura 10).



**Figura 10.** Concentración de P total en el suelo de cuatro hábitats de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas evaluadas con la prueba post Hoc de Tukey para n desigual.

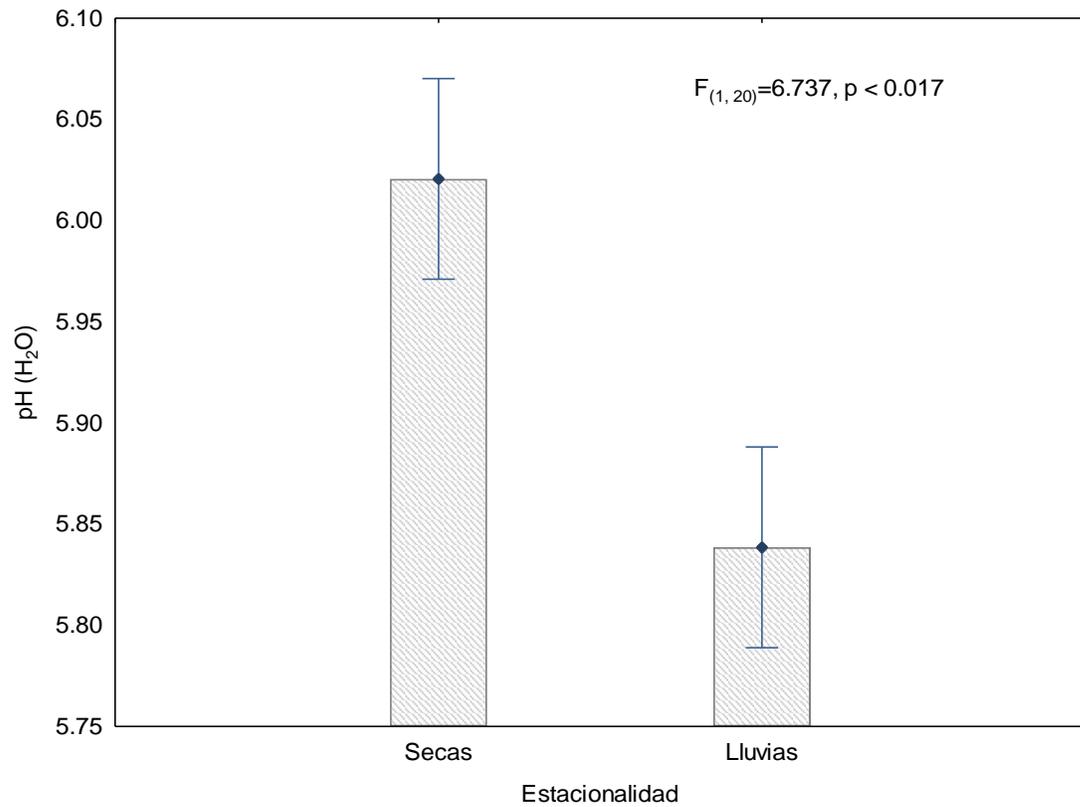
## Efecto de la estacionalidad

En promedio, el pH del suelo bajo solución acuosa en la estación lluviosa fue 3% menor ( $5.8 \pm 0.04$ ) que en la estación seca ( $6.0 \pm 0.04$ ). El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias significativas en el pH del suelo bajo solución acuosa ( $F_{(1,20)} = 6.73$ ,  $p < 0.01$ ; Figura 11).

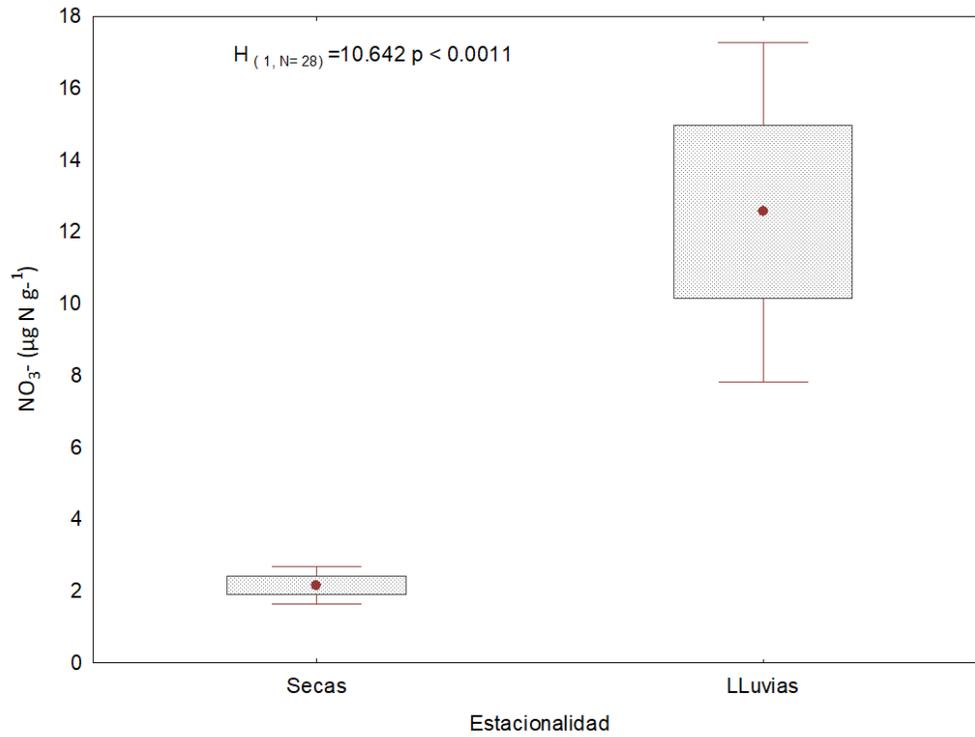
En promedio, la concentración de N total en el suelo en la estación seca fue 3% mayor ( $3.61 \pm 0.23 \text{ mg N g}^{-1}$ ) que en la estación lluviosa ( $3.48 \pm 0.23 \text{ mg N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de N total en el suelo fue estadísticamente similar entre estaciones ( $F_{(1, 10)} = 0.08$ ,  $p > 0.77$ ; Tabla 3).

En promedio, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo en la estación lluviosa fue 6 veces mayor ( $12.58 \pm 0.83 \text{ } \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que en la estación seca ( $2.07 \pm 0.83 \text{ } \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El análisis Kruskal-Wallis mostró que la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo difirió por efecto de la estación ( $H_{(1, 10)} = 10.64$ ,  $p < 0.001$ ; Figura 12).

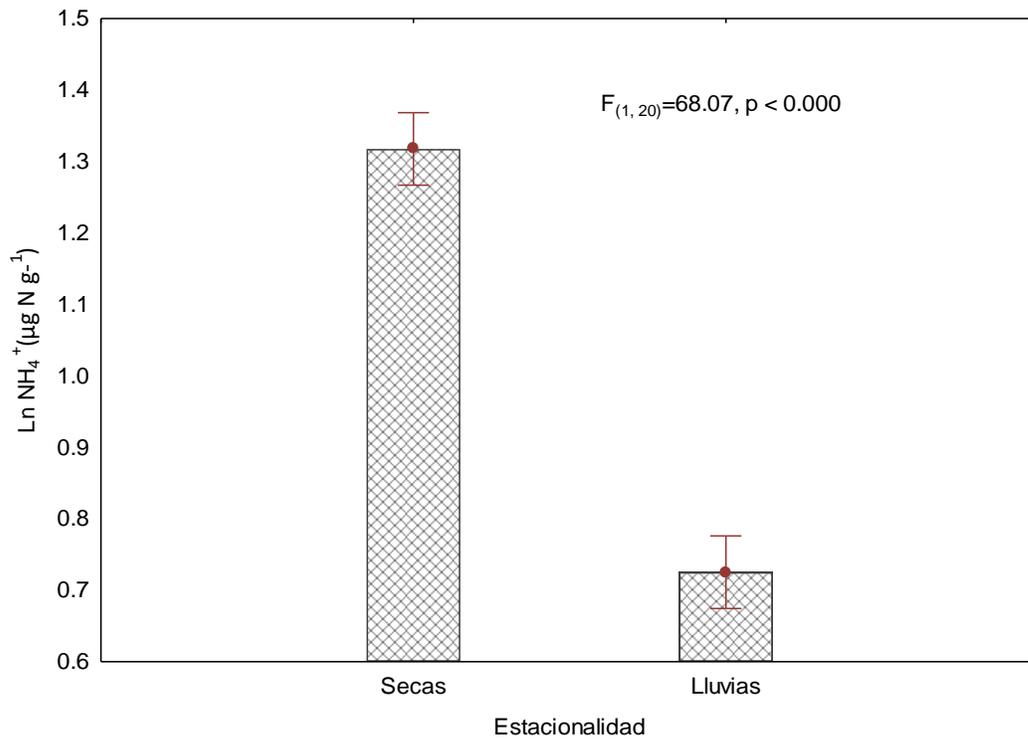
En promedio, la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo en la estación seca fue 3.9 veces mayor ( $22.63 \pm 2.01 \text{ } \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que en la estación lluviosa ( $5.70 \pm 2.01 \text{ } \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo fue estadísticamente diferente entre estaciones ( $F_{(1, 10)} = 68.07$ ,  $p < 0.0001$ ; Figura 13).



**Figura 11.** Concentración de pH en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar.



**Figura 12.** Concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar.



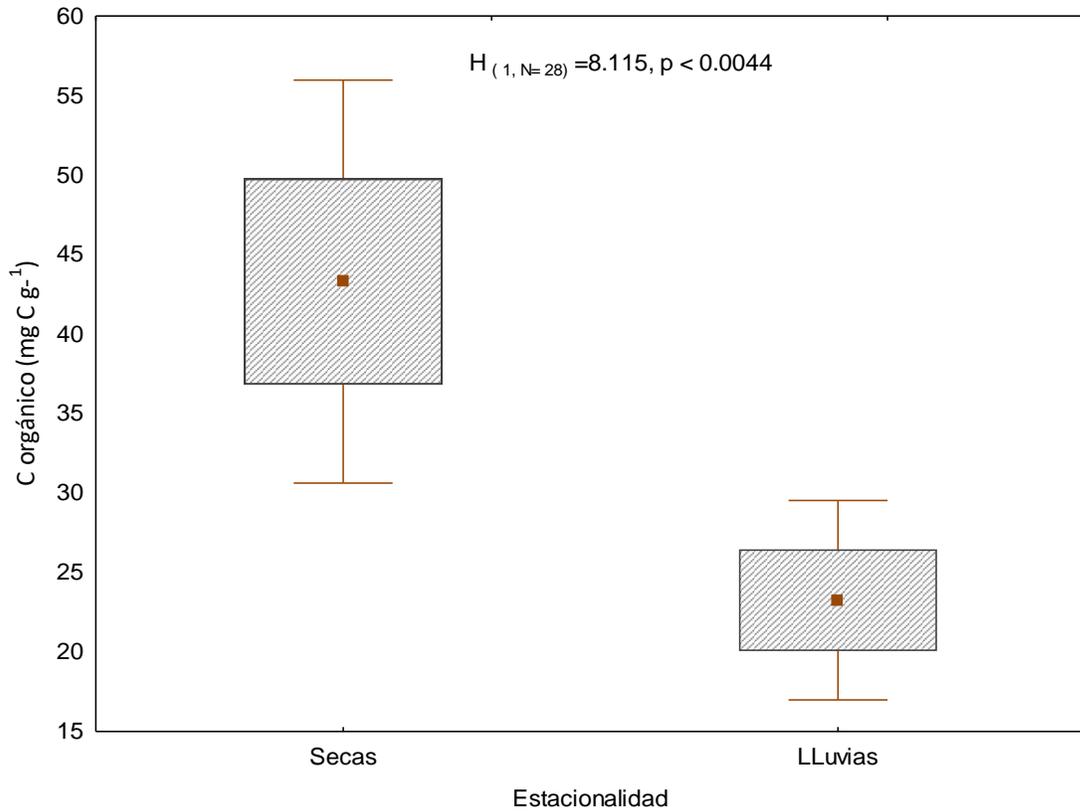
**Figura 13.** Concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos negros representan los promedios y las líneas verticales el error estándar.

En promedio, la concentración de C-orgánico en el suelo en la estación seca fue 77 % mayor ( $41.96 \pm 4.32 \text{ mg C g}^{-1}$ ) que en la estación lluviosa ( $23.64 \pm 4.32 \text{ mg C g}^{-1}$ ). El análisis Kruskal-Wallis mostró que la concentración de Carbono orgánico en el suelo fue estadísticamente diferente entre estaciones ( $H_{(1, 10)} = 8.11$ ,  $p < 0.004$ ; Figura 14).

En promedio, la concentración de P total en el suelo de la estación lluviosa fue 2 % mayor ( $194 \pm 13.36 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que en la estación seca ( $190 \pm 13.36 \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de P total en el suelo fue estadísticamente similar entre estaciones ( $F_{(1, 10)} = 0.04$ ,  $p > 0.82$ ; Tabla 3).

**Tabla 3.** Promedio  $\pm$  un error estándar del N total y P total del suelo (0-10 cm de profundidad) durante las estaciones de secas y lluvias de una selva estaciona de Quilamula, Morelos. Se indica el valor de F por efecto de la estacionalidad; NS= no significativo

Variables	Estacionalidad		F (1,20)
	Secas	Lluvias	
N Total ( $\text{mg N g}^{-1}$ )	$3.61 \pm 0.23$	$3.48 \pm 0.23$	0.08 NS
P Total ( $\mu\text{g P g}^{-2}$ )	$190 \pm 13.36$	$194 \pm 13.36$	0.04 NS



**Figura 14.** Concentración de Carbono orgánico en el suelo en las estaciones de secas y lluvias de una selva estacional en Quilamula, Morelos. Los puntos representan los promedios, las cajas representan los promedios+ el error estándar.

## Efecto interacción Hábitat X Estacionalidad

La interacción hábitat x estacionalidad mostró que el pH del suelo bajo solución acuosa fue mayor en los cuatro hábitats en la estación seca (6.0) comparado con la estación lluviosa (5.8). El análisis de varianza (ANOVA) mostró que no hubo diferencias significativas en la interacción hábitat x estacionalidad ( $F_{(3,20)} = 2.46$ ,  $p > 0.09$ );).

La interacción hábitat x estacionalidad para N total en el suelo mostró que la estacionalidad no tuvo un efecto sobre el hábitat. La concentración de N total en el hábitat conservado en la temporada de secas fue 2.3 veces mayor ( $5.80 \pm 0.54$  mg N g<sup>-1</sup>) que en el hábitat perturbado ( $2.53 \pm 0.34$  mg N g<sup>-1</sup>), 2 veces mayor que el hábitat de intervención máxima ( $2.80 \pm 0.19$  mg N g<sup>-1</sup>) y 75% mayor que el hábitat de intervención mínima ( $3.3 \pm 0.46$  mg N g<sup>-1</sup>). En la estación lluviosa la concentración de N total en el hábitat conservado fue 2 veces mayor ( $4.85 \pm 0.42$  mg N g<sup>-1</sup>) que la del hábitat perturbado ( $2.36 \pm 0.42$  mg N g<sup>-1</sup>), 37 % mayor que el hábitat de intervención mínima ( $3.54 \pm 0.49$  mg N g<sup>-1</sup>) y 52% mayor que el hábitat de intervención máxima ( $3.18 \pm 0.49$  mg N g<sup>-1</sup>). El ANOVA mostró que la concentración de N total en el suelo fue estadísticamente similar en la interacción hábitat x estacionalidad. ( $F_{(3, 10)} = 0.44$ ,  $p > 0.72$ )

En promedio, la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el suelo del hábitat conservado fue 20 % mayor ( $26.49 \pm 7.65$  µg N g<sup>-1</sup>) que en el hábitat perturbado ( $21.71 \pm 3.01$  µg N g<sup>-1</sup>), 50% mayor que en el hábitat de intervención mínima ( $17.56 \pm 2.82$  µg N g<sup>-1</sup>) y 7% mayor que en el hábitat de intervención máxima ( $24.74 \pm 5.97$  µg N g<sup>-1</sup>). En la estación lluviosa la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el hábitat de intervención

mínima fue 75% mayor ( $7.23 \pm 4.31 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que el hábitat perturbado ( $4.12 \pm 3.73 \mu\text{g N g}^{-1}$ ), 35% mayor que en el hábitat de intervención máxima ( $5.38 \pm 4.31 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) y 18% mayor que en el hábitat conservado ( $6.10 \pm 3.73 \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo fue estadísticamente similar en la interacción hábitat x estacionalidad.  $F_{(3, 10)} = 1.12$ ,  $p > 0.36$ ; Tabla 4).

En promedio, la concentración de P total en el suelo del hábitat conservado fue 2.3 veces mayor ( $312 \pm 30.33 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que en el hábitat perturbado ( $131 \pm 19.29 \mu\text{g N g}^{-1}$ ), 80 % mayor que en el hábitat de intervención mínima ( $173 \pm 25.79 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) y 2.1 veces mayor que en el hábitat de intervención máxima ( $146 \pm 10.69 \mu\text{g N g}^{-1}$ ). En la estación lluviosa la concentración de P total en el hábitat conservado fue 2.1 veces mayor ( $246 \pm 24.74 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) que el hábitat perturbado ( $112 \pm 24.74 \mu\text{g N g}^{-1}$ ), 24% mayor que el hábitat de intervención máxima ( $197 \pm 28.57 \mu\text{g N g}^{-1}$ ) y 10 % mayor que en el hábitat de intervención mínima ( $222 \pm 28.57 \mu\text{g N g}^{-1}$ ). El ANOVA mostró que la concentración de P total en el suelo fue estadísticamente similar en la interacción hábitat x estacionalidad. ( $F_{(3, 10)} = 2.29$ ,  $p > 0.10$ );).

## **Discusión**

Este trabajo evaluó los efectos a corto plazo en la concentración de nutrientes en el suelo de cuatro hábitats en una selva estacional de Quilamula, Morelos: el hábitat conservado tuvo las mayores concentraciones de nutrientes mientras que los sitios bajo restauración presentaron concentraciones similares a las del hábitat perturbado después de dos años de la intervención. También, se reveló que en la estación seca hubo mayores concentraciones de C-orgánico y  $\text{NH}_4^+$ , el pH fue más ácido mientras que no se registraron cambios en el P Total y N total entre estaciones.

## **Efecto del hábitat**

Contrario a lo esperado, los valores de pH fueron similares en la selva más conservada y en el hábitat perturbado. En un estudio en una selva estacional de la India, se reportó un pH más ácido en áreas agrícolas en comparación con suelos forestales (Tiwari et al., 2019). También, en una selva estacional de Brasil se registró un pH más ácido en sitios deforestados desde 1920 (Da Silva et al., 2021). En un muestreo en el año 2013 en la misma localidad donde se llevó a cabo el presente estudio, el pH fue menor en el suelo de dos sitios perturbados ( $6.76 \pm 1.13$ ) comparado con el suelo de dos sitios conservados ( $7.14 \pm 0.48$ ; Carrasco-Carballido, 2019). Pero, por otra parte, en una selva estacional de Guerrero, México se encontró un pH similar en suelos agropecuarios y en los de la selva conservada (Fuentes-Hernández et al., 2019). También, en la selva estacional de Sierra de Huautla, el pH fue similar en suelos con uso agropecuario y en la selva

conservada (Jara et al., 2009). Al parecer, el cambio en el pH debido al cambio de uso de suelo es poco frecuente; es probable que el tiempo de uso de los sitios sea una de las variables relevantes para observar este cambio.

Acorde a lo esperado, las concentraciones de P y N total y  $\text{NO}_3^-$  en el suelo fueron mayores en el hábitat conservado en comparación con el perturbado. Nuestros resultados concuerdan con lo reportado en una selva estacional en la India, donde reportaron una disminución de P total del 31% en suelos de pastizales y de un 47% en suelos agrícolas comparados con los suelos de la selva madura (Tripathi & Singh, 2009). También, en una selva estacional de la India, se reportó una disminución de N total y  $\text{NO}_3^-$  en suelos de pastizales comparados con los suelos de la selva madura (Tripathi & Singh, 2009). De forma similar, en una selva estacional de Costa Rica se reportó una disminución del N total en suelos bajo pastizales en comparación con la selva madura (Johnson & Wedin, 1997). Las selvas estacionales tienen un ciclo abierto de N, es decir, altas pérdidas de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviación y pérdidas por emisiones (Martínez-Yrizar, 1995). Cuando el grado de perturbación es menos severo, se reducen las pérdidas por lixiviación de N en sus formas inorgánicas (Jaramillo & Sanford 1995). Las comunidades de plantas también pueden afectar la disponibilidad de N a través de su influencia en la composición y función de las comunidades microbianas del suelo, por ejemplo, las poblaciones fijadoras de N (Baer, 2016). La concentración de P y N total y  $\text{NO}_3^-$  en el suelo se ve afectada por el cambio de uso de suelo de selva a pastizales o tierras agrícolas.

Contrario a mi hipótesis, la concentración de C-orgánico en el suelo fue similar en la selva conservada y en el pastizal. Dado que el sobrepastoreo reduce las existencias de C del suelo al reducir la productividad de las plantas (Baer, 2016), esperábamos ver este cambio en estos pastizales. Por ejemplo, en un estudio en la selva estacional de la India, se reportó una disminución de C-orgánico en suelos de pastizales comparados con los suelos de la selva madura (Tripathi & Singh, 2009). De forma similar, en una selva estacional de Costa Rica, se reportó una disminución del C-orgánico en suelos bajo pastizales en comparación con suelos de la selva madura (Johnson & Wedin, 1997). En contraste, en una selva estacional de Jalisco, México, se reportó que las concentraciones de C-orgánico fueron más altas en el suelo de los pastizales en comparación con la selva probablemente debido a la descomposición de las raíces de árboles después de la deforestación (Jaramillo et al., 2003). Los reportes sobre el cambio en las concentraciones de C-orgánico con el cambio de uso de suelo son contrastantes, pero con una ligera tendencia hacia la disminución debido probablemente a la pérdida de la biomasa aérea después de la deforestación.

### **Efecto de la intervención de restauración**

En este estudio se observó que después de dos años de intervención de restauración mediante plantaciones y sucesión natural no cambió el pH en los suelos. Acorde con nuestros resultados, un experimento con acolchados orgánicos y plantaciones de restauración reveló que ninguno de estos tratamientos cambió el pH del suelo (Barajas-Guzmán et al. 2006). En la misma localidad donde se

realizó el presente estudio, en otra plantación de restauración, tampoco se observaron cambios en el pH del suelo después de un año de la intervención (Carrasco-Carballido et al., 2019). Por otra parte, contrario a nuestra predicción, las concentraciones de N total y  $\text{NO}_3^-$  no se recuperaron con la intervención de restauración. Según Guariguata & Ostertag (2001) la recuperación de las propiedades fisicoquímicas del suelo depende de las interacciones entre los factores específicos del sitio y el uso de la tierra, lo que dificulta predecir las trayectorias sucesionales. Por ejemplo, en la selva estacional de Sierra de Huautla se registró una mayor concentración de N total en los sitios con sucesión natural temprana (10 años) que en los sitios con sucesión tardía (60 años; Saynes et al., 2005). Por otra parte, los resultados de un experimento de restauración en la selva estacional de Quilamula Morelos, coincidieron con nuestros resultados: a dos años del establecimiento de la intervención de restauración, la concentración de N total y de  $\text{NO}_3^-$  fueron similares en las plantaciones y en la sucesión natural (Carrasco-Carballido et al., 2019). Por otra parte, esperábamos una recuperación de las concentraciones de P en el suelo con la intervención de restauración. Por ejemplo, en una selva estacional de la India, las concentraciones de P total en el suelo fueron mayores en plantaciones de 4 años que en sitios sin plantaciones (Oraon et al., 2014). También, en un estudio realizado en la selva estacional de Sierra de Huautla, Morelos se registró una mayor concentración de P total en sitios bajo árboles remanentes que sitios abiertos (Jara et al., 2009). Sin embargo, otros estudios no han mostrado cambios con la intervención de restauración, por ejemplo, en la selva estacional de Sierra de Huautla se registró que las concentraciones de P total no cambiaron con el tiempo sucesional sino que

estuvieron más conectadas a la estacionalidad (ver abajo: Valdespino et al., 2009). Asimismo, en un experimento de restauración se encontró que la concentración de P total fue similar en plantaciones de restauración de tres años y bajo sucesión natural (Carrasco-Carballido et al., 2019). Nuestros resultados muestran que en comparación con los datos de Carrasco-Carballido y colaboradores, (2019) la concentración de P total para sitios bajo sucesión natural fue 85% mayor y para las plantaciones de restauración fue 61% mayor. Finalmente, contrario a mi hipótesis, la concentración de C-orgánico en el suelo fue similar en las plantaciones de restauración, la sucesión natural y el pastizal. Dado que las plantaciones de restauración buscan acelerar la sucesión, esperábamos ver diferencias en la concentración de C-orgánico entre estos dos tratamientos y un aumento en las concentraciones en comparación con el pastizal en uso. Sin embargo, el C-orgánico no aumenta continuamente con la sucesión, por ejemplo, en un estudio en la selva estacional de Sierra de Huautla se registró una mayor concentración de C-orgánico en los sitios sucesionales tempranos que en los tardíos (Saynes et al., 2005). Por otro lado, en Sierra de Huautla, a dos años de la intervención de restauración, no se observaron cambios en la concentración de C-orgánico entre plantaciones de restauración y la sucesión natural, aunque si se registró un aumento del C-orgánico en el suelo con el tiempo de establecimiento de la intervención de restauración (Carrasco-Carballido et al., 2019). Por otro lado, se sugiere que los niveles de C-orgánico son una buena medida de la restauración de los suelos (Costanini et al., 2016), por lo que los niveles similares de C-orgánico en la selva conservada y en áreas bajo restauración son buenas noticias para la recuperación de la función del ecosistema. Los resultados de nuestro

estudio sugieren que, aunque ha pasado poco tiempo, la intervención de restauración está mejorando las condiciones del suelo puesto que no se presentaron grandes pérdidas de N total e inorgánico por lixiviación. También, dado que en las plantaciones también ocurre la sucesión natural y los árboles plantados apenas tienen dos años, aún no se nota un efecto del tratamiento en la fertilidad del suelo por lo que es posible que sea necesario más tiempo para notar este cambio.

### **Efecto de la estacionalidad**

Acorde con mi hipótesis, la concentración de C-orgánico y de  $\text{NH}_4^+$  fue mayor en la estación seca. Existen muchos reportes de este patrón en las concentraciones con la estacionalidad: por ejemplo, en un estudio en Chamela, Jalisco, México, en los suelos de pastizales y los de la selva conservada se registró que las concentraciones de C-orgánico fueron más altas en la estación seca (García-Oliva et al., 2006). Además, en una selva estacional de la India, las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) disponible fueron también más altas durante la estación seca (Tripathi & Singh, 2009). Por otra parte, en un experimento, también en la India se registraron mayores concentraciones de C-orgánico en la estación seca (Singh et al., 2018). Finalmente, en la selva estacional de Sierra de Huautla, Morelos hubo una mayor acumulación de  $\text{NH}_4^+$  en la capa superior del suelo en áreas sin vegetación y en suelos bajo árboles remanentes en la estación seca (Jara et al., 2009). También, en esa misma localidad, en suelos de áreas sucesionales tempranas se registraron mayores concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en la

estación seca (Saynes et al., 2005). Una mayor concentración de C-orgánico y de  $\text{NH}_4^+$  durante la estación seca se ha reportado para muchas localidades de selva estacional incluso bajo diferentes usos de suelo.

Contrario con mi hipótesis, la concentración de P total fue similar en la estación de lluvias y secas. El efecto de la estacionalidad en la concentración de P total varía entre estudios: por ejemplo, en una selva estacional de Morelos, México se registró que las concentraciones de P total en suelos bajo sucesión natural no variaron entre lluvias y secas (Valdespino et al., 2008). De igual manera, en la selva estacional de Chamela, Jalisco las concentraciones de P total en suelos de selva primaria, selva secundaria (26 años) y pastizales no fueron diferentes entre lluvias y secas (Sandoval-Pérez et al, 2009). También, otro estudio en la selva estacional de Chamela, Jalisco se registró que las concentraciones de P total en suelos de selva conservada y pastizales (6 años) no fueron diferentes entre estaciones (García-Oliva et al., 2006). Sin embargo, en un experimento, en la India se registraron mayores concentraciones de P total en la estación seca (Singh et al., 2018). También, en la selva estacional de Sierra de Huautla, Morelos hubo una mayor acumulación de P disponible en la capa superior del suelo en áreas sin vegetación y en suelos bajo árboles remanentes en la estación seca (Jara et al., 2009). Al parecer en sitios sucesionales, los cambios en las propiedades del suelo son más variables por lo que tienen un mayor efecto en el P total que el efecto de la estacionalidad.

Contrario a nuestra predicción, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  fue mayor en la estación lluviosa y el pH fue más ácido mientras que la concentración de N total

fue similar en secas y lluvias. Aunque no encontramos muchos reportes sobre el cambio del pH con la estacionalidad, en un estudio en la selva estacional de Chamela, Jalisco se registró un pH más ácido en plantaciones de *Lonchocarpus eriocarinalis* (Fabaceae) y bajo acolchados orgánicos durante la estación seca (Barajas-Guzmán et al. 2006), contrario a nuestros resultados. Con respecto a las concentraciones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) disponible, en una selva estacional de la India, se reportaron mayores concentraciones durante la estación seca (Tripathi & Singh, 2013). Por otra parte, en un estudio en la selva estacional de Chamela, Jalisco, en suelos de pastizales y de selva conservada se registró que las concentraciones de N total fueron más altas en la estación seca (García-Oliva et al., 2006). También, en un experimento, en la India se registraron mayores concentraciones de N total en la estación seca (Singh et al., 2018). Por otro lado, en la selva estacional de Chamela, Jalisco las concentraciones de N total en suelos de selva primaria, selva secundaria (26 años) y pastizales no fueron diferentes entre lluvias y secas (Sandoval-Pérez et al, 2009). Al parecer los reportes de las concentraciones de N total son contrastantes es posible que otros factores como la vegetación creciendo en estos sitios, el uso de suelo en cada estudio o la variación en la precipitación durante el año de muestreo haya tenido repercusiones en estas mediciones.

## Conclusiones

- ◆ El cambio de uso de suelo si tiene un efecto en la disminución de los nutrientes por lo que el hábitat conservado tuvo la mayor concentración de N total, P total y  $\text{NO}_3^-$ .
- ◆ El suelo en los sitios bajo intervención de restauración aún no se diferencia del hábitat perturbado; se espera que el efecto de la intervención de restauración sea evidente en el futuro con el crecimiento de las plantaciones de restauración.
- ◆ Durante la estación secas se registraron mayores concentraciones de C-orgánico y  $\text{NO}_3^-$ , mientras que durante la estación lluvias hubo mayor concentración de  $\text{NH}_4^+$

## **Implicaciones para la restauración**

- ◆ La transformación de la selva a pastizal ha generado cambios en la concentración de nutrientes, lo que altera los ciclos biogeoquímicos. Los niveles de intervención de restauración pueden funcionar como una herramienta para la recuperación de las selvas estacionales, que han sido afectados por el cambio de uso de suelo.
- ◆ La materia orgánica es una fuente importante de incorporación de nutrientes al suelo, por lo que sugiere estudios que midan la productividad primaria de los niveles de intervención.
- ◆ Un estudio enfocado a la comunidad microbiana en el suelo podría ayudar a entender la dinámica de los nutrientes en el suelo.
- ◆ El ciclaje de los nutrientes de la selva estacional depende mucho de la estacionalidad, la realización de más estudios será fundamental para un mejor entendimiento de la dinámica de los nutrientes.

## Literatura citada

- Álvarez-Yépiz, J., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, , A., & Lindquist., C. (2008). Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 256, 355-36.
- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). Tropical soils biology and fertility. En *En A handbook of methods* (pág. 221). Second edition. CAB International.
- Baer, S. (2016). Nutrient Dynamics as Determinants . En J. B. A. Palmer, *Foundations of Restoration Ecology*, (pág. 333/364). Washington, DC: Island Press.
- Barajas-Guzman, M. G., Campo, J., & Barradas, V. L. (2006). Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant and Soil*, 347-357.
- Bengtsson, J. (1998). Which species? What kind of diversity? Which ecosystem function? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function. *Applied Soil Ecology* 10, 191-199.
- BOWLES, J. E. (1982). *Propiedades geofísicas de los suelos. 1ª. Ed. en español.* Bogotá: McGraw - Hill. 491 p.
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1990). Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, 6,, 1-32.
- Campo, J., Solís, E., & Gallardo, J. (2012). Effects of fertilisation on soil nutrient characteristics and the growth of tree stand in secondary seasonally dry tropical forest in Mexico. *Journal of Tropical Forest Science*, 419-426.
- Campo, J., Solís, E., & Valencia, M. G. (2007). Litter N and P dynamics in two secondary tropical dry forests after relaxation of nutrient availability constraints. *Forest Ecology and Management*, 252: 33-40.
- Carrasco-Carballido, P. V. (2019). Evaluación de la sucesión natural y la recuperación de la función del ecosistema en la Selva Baja Caducifolia. Dissertation. *Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.*
- Carrasco-Carballido, V., Martínez-Garza , C., Jiménez-Hernández, H. E., Marquez-Torres, J. F., & Campo, J. (2019). Effects of Initial Soil Properties on Three-Year Performance of Six Tree Species in Tropical Dry Forest Restoration Plantings. *Forests* 10(5):428.
- Cerón-Rincón, L. &. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología* 21, 285-295.

- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2011). *Ecosistemas de México: Extensión y distribución*. Obtenido de <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex>
- CONAGUA. (2015). *Servicio metereológico nacional de la Comisión del agua*. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mor>.
- Connell, J., & Slatyer, R. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* 111, 1119-1144.
- Coppus, R., Romijn, E., Méndez-Toribio, M., Murcia, C., Thomas, E., Guariguata, M. R., . . . Verchot, L. (2019). Una clasificación de proyectos de restauración del paisaje forestal en América Latina y el Caribe. *CIFOR*.
- Costantini EAC, Branquinho, C., Nunes, A., Schwilch, G., Stavi, I., Valdecantos, A., & Zucca, C. (2016). Soil indicators to assess the effectiveness of restoration strategies in dryland ecosystems. *Solid Earth*, 397-414.
- da Silva, T. G., de Queiroz, M. G., Zolnier, S., de Souza, L. S., de Souza, C. A., de Moura, M. S., & Alves, H. K. (2021). Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. *Soil and Tillage Research*, 207, 104852.
- Dirzo, R., Young, H. S., Mooney, H. A., & Ceballos, G. (2011). *Seasonally Dry Tropical Forests*. Washington: Island Press.
- Dorado, O., Maldonado, B., Arias, D., Sorani, V., Leyva, E., & Valenzuela, D. (2005). Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, México. *México. CONANP*, 207pp.
- Ebrahimi, M., Khosravi, H., & Rigi, M. (2016). Short-term grazing exclusion from heavy livestock rangelands affects vegetation cover and soil properties in natural ecosystems of southeastern Iran. *Ecological Engineering* 95, 10-18.
- FAO-ITPS. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2020). *Protocol for the assessment of Sustainable Soil Management*. Rome: FAO.
- Finegan, B. (. (1984). Forest succession. . *Nature*, 312, 109-114.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). Soil carbon sequestration for improved land management. . *World soil reports 96. Rome*, 58.
- Fuentes-Hernández, A., Mendoza-Orozco, M., Ríos-Casanova, L., Soler-Aburto, A., Muñoz-Iniestra, D., & Godínez-Álvarez, H. (2019). Impact of agriculture and cattle raising on the tropical dry forest of Zirándaro Guerrero: an

evaluation using ecological indicators. *Botanical Sciences* 97 (2): , 148-154.

- Galicia, L., & García-Oliva, F. (2004). The effects of C, N and P additions on soil microbial activity under two remnant tree species in a tropical seasonal pasture. *Applied Soil Ecology* 26, 31-39.
- Gann GD, McDonald, T., Walder, B., Aronson , J., Nelson , C. R., Jonson , J., . . . Dixon , K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology Second Edition*, 1-46.
- García-Oliva, F., Gallardo, J. F., Montañón, N. M., & Islas, P. (2006). Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Followed by a Forest-to-pasture Conversion in Western Mexico. *Agroforestry Systems* 66(2):, 93-100.
- Guariguata, M., & Ostertag, R. (2001). Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. , *For. Ecol. Manage.* 148, 185–206.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, I. (1981). *Síntesis geográfica del Estado de Morelos. Secretaría de Programación y Presupuesto.* Mexico.
- IPBES. (2018). *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas.* Germany: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Bonn.
- Jara, P., Martínez, E., & Campo, J. (2009). N and P dynamics in the litter layer and soil of Mexican semi-arid forests, state of Morelos. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130, 164-170.
- Jaramillo, D. (2002). ¿Qué se entiende por suelo? En *Introducción a la ciencia del suelo* (pág. 613). Medellín : Universidad Nacional de Colombia .
- Jaramillo, V. G.-O.-Y. (2010). La selva seca y el disturbio antrópico en un contexto funcional. En L. M. G. Ceballos, *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (págs. 235-250). Mexico: Fondo de Cultura Económica. CONABIO.
- Jaramillo, V. J. (1995). Nutrient cycling in tropical deciduous forests. *Seasonally dry tropical forests*, 346-361.
- Jaramillo, V., Kauffman, J., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D., & Ellingson, L. (2003). Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems* 6,, 609-629.
- Jiménez-Hernández, H. (2018). Efecto de plantaciones de restauración ecológica en la concentración de nutrientes del suelo en una selva estacional de Quilamula, Morelos. *Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, 71 pp.

- Johnson, N. C. (1997). Soil carbon, nutrients, and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. *Ecological Applications*, 7(1), 171-182.
- Kennard, D. (2002). Secondary forest succession in a tropical dry forest: patterns of development across a 50-year chronosequence in lowland Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 18, 53-66.
- Lugo-Hubp, J. (1984). Geomorfología del sur de la cuenca de México. *Instituto de Geografía., UNAM, Mexico City. Ser. Varia*, 8.
- Maldonado, B., Caballero, J., & Delgado-Salinas, A. (2013). Relationship between Use Value and Ecological Importance of Floristic Resources of Seasonally Dry Tropical Forest in the Balsas River Basin, México. *Econ Bot* 67, 17–29.
- Marín-Spiotta, E., & Sharma, S. (2013). Carbon storage in successional and plantation forest soils: a tropical analysis. *Global Ecology and Biogeography* 22, 105-117.
- Martínez, H., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8, 68-96.
- Martínez-Garza, C., Osorio-Beristain, M., Alcalá, R., Valenzuela, D., & Mariano, N. (2016). Ocho años de restauración experimental en las selvas estacionales de México. En *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. (págs. Pp 385-406). México: UAEM.
- Martínez-Yrizar, A. (1995). Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forests. En S. Bullock, H. A. Mooney, & E. Medina, *Sea-sonally dry tropical forests* (págs. 326-345). Cambridge: Cambridge University Press.
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., Ceccon, E., & Guariguata, M. (2018). La restauración de ecosistemas terrestres en México: Estado actual, necesidades y oportunidades. *Documentos Ocasionales 185. Bogor, Indonesia: CIFOR*.
- Miles, L., Newton, A., DeFries, R., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., . . . Gordon, J. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33, 491-505.
- Miranda, F., & Hernández - X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. México: Bol. Soc. Bot. Mex.
- Murphy, P. G. (1986). The ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 17, 66- 88.
- Murthy D., Kirschbaum, M. U., Mcmurtrie, R. E., & MCGILVray, H. (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. *Global Change Biology*, 8: 105-123.

- OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development. (2003). *Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses. Proceedings of an OECD expert meeting. (ed. Scott Smith, C.A).* París, Francia: Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organization for Economic Co-Operation and Development,.
- Olson, D. &. (2002). The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89, 199-224.
- Oraon, B., Malik, M. S., & Bijalwan, A. (2014). Changes in soil properties under plantation of multipurpose trees species in different ecosystems of Jharkhand, India. *Applied Ecology and Environmental Sciences* 2, 110-123.
- Ortiz-Solorio, M. L., Anaya , M., & Estrada Berg Wolf, J. W. (1994). Evaluacion cartografia y politicas preventivas de la degradacion de la tierra. COLPOS/CONASA.
- Portillo-Quintero, C. A.-A. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation* 143, 144-155.
- Roa Fuentes, L., Campo , J., Martínez-Garza, C., & Etchevers, J. (2015). Recovery of soil C and N in a tropical pasture: pasive and active restoration. *Land Degradation & Development* 26, 201-215.
- Robertson, P., Wendin, D., Groffman, P., Blair, J., Holland, E., & Nadelhoffer, K. y. (1999). Carbon and nitrogen availability. En P. Robertson, D. Coleman, & C. B. Sollins, *Standard Soil Methods for Long-term Ecological Research* (págs. 258-265). Nueva York: Oxford University Press. .
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. México: 1a Edición Digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504pp.
- Sandoval-Pérez, A., Gavito, M. E., García-Oliva, F., & Jaramillo, V. (2009). Carbon, nitrogen, phosphorus and enzymatic activity under different land uses in a tropical, dry ecosystem. *Soil use and Management*, 419-426.
- Saynes, V., Campo, J., Hidalgo, C., & Etchevers, J. (2005). Soil C and N dynamics in primary and secondary seasonally dry tropical forests in Mexico. *Applied Soil Ecology* 29, 282-289.
- SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). *Degradacion del suelo en la Republica Mexicana, escala 1:250000*. Mexico: Direccion de Geomatica.
- SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Informe de la situacion del Medio ambiente en Mexico. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental*. Mexico: SEMARNAT.

- SER. (2007). Principios de SER Internacional sobre la Restauración Ecológica. *Society for Ecological Restoration International*, EUA: 15.
- Singh, A. K., Rai, A., Banyal, R., Singh, P., & Singh, N. (2018). Plant community regulates soil multifunctionality in a tropical dry forest. *Ecological Indicators*, 95: 953-963.
- Singh, A., Ranghubanshi, A., & Singh, J. (2004). Impact of native tree plantation on mine spoil in a dry tropical environment. *EcolManag* 187, 49-60.
- SINGH, J. S., SINGH, D. P., & KASHYAP, A. K. (2010). Microbial Biomass C, N and P in Disturbed Dry Tropical Forest Soils, India. *Pedosphere*, 20(6): 780-788.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología*. Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Soil Science Society of America. (1984). *Glossary of Soil Science terms*. SSSA. Madison, 58.
- Sollins, P., Glassman, C., Paul, E., Swanston, L. K., & H. J. (1999). Soil carbon and nitrogen: Pools and fractions. En P. Robertson, D. Coleman, & C. B. Sollins, *Standard soil methods for long-term ecological research* (págs. 258-285). Nueva York: Oxford University Press. .
- Sorani, V., Rodríguez-Gallegos, G., & Román-Colín, C. (2020). Diversidad de ecosistemas. En *La Biodiversidad de Morelos. Estudio de Estado 2 Vol. I* (págs. 257-277 ). México: CONABIO.
- Sotelo-Caro, O., & Chichia-González, J. (2020). Análisis del cambio de cobertura vegetal y su efecto en la biodiversidad. En *La Biodiversidad en Morelos. Estudio de Estado 2. Vol. III* (págs. 133-144). México: CONABIO.
- Sposito, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press.
- Stern M, Quesada, M., & Stoner, K. E. (2002). Changes in composition and structure of a tropical dry forest following intermittent cattle grazing. *Revista De Biología Tropical* 50, 1021-1034.
- Technicon Industrial Systems. (1977). *New York Patente nº Technicon Industrial Method No. 329/74 W/B. Individual/simultaneous determination of nitrogen and/or phosphorous in BD acid digestion*.
- Tiwari, S., Singh, C., Boudh, S., Rai, P., Gupta, V. K., & Singh, J. S. (2019). Land use change: A key ecological disturbance declines soil microbial biomass in dry tropical uplands. *Journal of Environmental Management*, 242: 1-10.

- Trejo, I., & Hernández, J. (1996). Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. *Instituto de Geografía, UNAM, México*, 11-18.
- Tripathi, N., & Singh, R. (2009). Influence of different land uses on soil nitrogen transformations after conversion from an Indian dry tropical forest. *Catena*, 77: 226-223.
- Ueda, M. U., Kachina, P., Marod, D., & Nakashizu, T. (2017). Soil properties and gross nitrogen dynamics in old growth and secondary forest in four types of tropical forest in Thailand. *Forest Ecology and Management*, 398: 130-139.
- Valdespino, P., Romualdo, R., Cadenazzi, L., & Campo, J. (2009). Phosphorus cycling in primary and secondary seasonally dry tropical forests in Mexico. *Annals of Forest Science* 66, 107-107.
- Valenzuela-Galvan, D., Dorado, O., & Ramirez, R. (2010). Sierra de Huautla, Morelos Guerrero y Puebla. En G. Ceballos, L. Martinez, & A. Garcia, *Diversidad, amenazas y regiones prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pág. 469/473 pp). Mexico: CONABIO/CONANP/Alianza WWF TELCEL/ Ecociencia.
- Vázquez-Yanes, C., Batis, A. I., Alcocer, M. I., Gual, M. D., & Sánchez, C. (1999). *Árboles y Arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. México, D.F: Proyecto J-084-CONABIO.

## Apéndices

Apéndice 1. Nombre científico, familia y categoría de grupo funcional de seis especies arbóreas nativas de la selva estacional establecidas en un experimento de intervención máxima de restauración en Quilamula, Morelos, México.

Nombre científico	Familia	Grupo funcional
<i>Dalbergia congestiflora</i>	<i>Fabaceae</i>	Leguminosa
<i>Haematoxylum brasiletto</i>	<i>Fabaceae</i>	Leguminosa
<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Fabaceae</i>	Leguminosa
<i>Amphipterygium adstringens</i>	<i>Anacardiaceae</i>	No leguminosa
<i>Bursera linanoe</i>	<i>Burseraceae</i>	No leguminosa
<i>Dodonaea viscosa</i>	<i>Sapindaceae</i>	No leguminosa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos, a 27 de octubre de 2020

**Coordinación Académica**  
**Maestría en Biología Integrativa de la**  
**Biodiversidad y la Conservación**  
**Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Restauración de la selva estacional de Morelos: efectos en el suelo a corto plazo”** del alumno **Héctor Enrique Jiménez Hernández**, con número de matrícula **10022636**, aspirante al grado de Maestro(a) en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

( si ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

( ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

ATENTAMENTE  
*Por una humanidad culta*

Dra. Cristina Martínez-Garza  
Profesor-Investigador Titular B TC  
CIByC, UAEM



Cuernavaca, Morelos a 27 de octubre de 2021

**Coordinación Académica**  
**Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación**

**PRESENTE**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada “**Restauración de la selva estacional de Morelos: efectos en el suelo a corto plazo**” del alumno **Héctor Enrique Jiménez Hernández**, con número de matrícula **10022636**, aspirante al grado de Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(  ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

(  ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Sin más por el momento, agradezco la atención prestada a la presente, reciba un cordial saludo.

**Atentamente**

*Por una humanidad culta*



**Dr. José Juan Blancas Vázquez**  
Profesor Investigador de Tiempo Completo Titular B



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Cuernavaca, Morelos 26 de octubre 2021

**Coordinación Académica  
Maestría en Biología Integrativa de la  
Biodiversidad y la Conservación  
Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada **“Restauración de la selva estacional de Morelos: efectos en el suelo a corto plazo”** del alumno **Héctor Enrique Jiménez Hernández**, con número de matrícula **10022636**, aspirante al grado de Maestro(a) en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

(  si ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

(  ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

ATENTAMENTE

***Por una humanidad culta***  
*Una universidad de excelencia*

---

Dra. Patricia Valentina Carrasco Carballido  
Restauración ecológica  
carrasco@uaem.mx



INSTITUTO  
DE ECOLOGIA  
UNAM

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, octubre 25, 2021

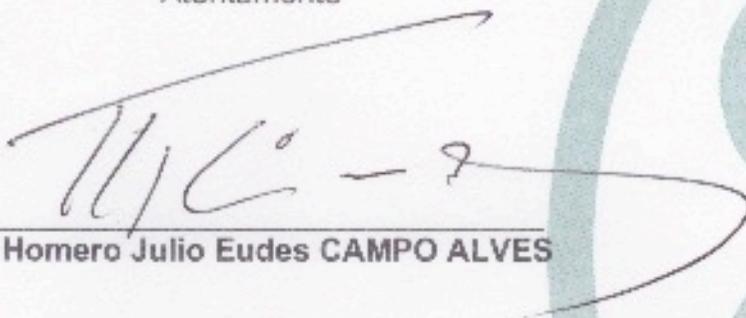
**Coordinación Académica**  
**Maestría en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación**  
**Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada "**Restauración de la selva estacional de Morelos: efectos en el suelo a corto plazo**" del alumno **Héctor Enrique Jiménez Hernández**, con número de matrícula **10022636**, aspirante al grado de Maestro en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente



**Dr. Homero Julio Eudes CAMPO ALVES**



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Colombia

Fecha: 25/10/2021

**Coordinación Académica**  
**Maestría en Biología Integrativa de la**  
**Biodiversidad y la Conservación**  
**Presente**

Como integrante de la Comisión Revisora y después de haber evaluado la tesis titulada “**Restauración de la selva estacional de Morelos: efectos en el suelo a corto plazo**” del alumno **Héctor Enrique Jiménez Hernández**, con número de matrícula **10022636**, aspirante al grado de Maestro(a) en Biología Integrativa de la Biodiversidad y la Conservación, expreso mi decisión eligiendo la opción:

( X ) Otorgo el voto por considerar que la tesis reúne los requisitos para ser presentada y defendida en el examen de grado.

(    ) No otorgo el voto aprobatorio por considerar que la tesis no está lista para ser presentada y defendida en el examen de grado.

Atentamente

---

**Lilia Lisseth Roa-Fuentes, PhD**



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Colombia

**Facultad de Estudios Ambientales y Rurales - Doctorado en Estudios Ambientales y Rurales**  
Transv. 4ª N° 42-00 piso 8°. PBX: (57-1) 320 83 20 Exts.: 4816 - 4812. Fax: (57-1) 3208320 Exts.: 4859 - 4860.  
Bogotá, D.C., Colombia