



Efecto del manejo forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México

Effect of forest management on the physicochemical properties of the soil in Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Mexico

Viviana Rodríguez-Rivera^{1*}, Karina Zaragosa-López², Ricardo Clark-Tapia² y Rosario Ramírez Santiago³

¹ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. Abacus. Ecología de Suelos. Ciudad de México, México.

² Universidad de la Sierra Juárez. Instituto de Estudios Ambientales, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. kraryzara@gmail.com, rclark@unsij.edu.mx

³ Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, Unidad Académica de Estudios Territoriales. Cátedras Conacyt. Oaxaca, Oaxaca, México. UNAMchayoixt@hotmail.com

* Autora de correspondencia. vianrivera@gmail.com

RESUMEN

Entre los principales temas que aborda el manejo forestal están la degradación y la conservación de la calidad del suelo. El objetivo de este trabajo fue analizar aspectos físicos y químicos del suelo en áreas sujetas a manejo forestal en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, con la finalidad de aportar recomendaciones al manejo forestal y la conservación del suelo. Se seleccionaron tres sitios de matarrasa en franja y tres sitios adyacentes de vegetación alterna como control, además de un sitio de recuperación natural sujeto en el pasado a agricultura. Cada sitio fue subdividido en tres altitudes (superior, media y baja) y en cada una de ellas se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo. A los resultados se le aplicaron análisis de varianza y multivariados (ACP- análisis de componentes principales, MDS- análisis de escalamiento multidimensional y mapa de calor). Se encontró un efecto significativo del tratamiento de matarrasa sobre algunas propiedades físicas (densidad, compactación y porosidad) y químicas (carbono, pH, conductividad, nitrógeno y magnesio) en comparación con vegetación alterna. El análisis multivariado de las propiedades fisicoquímicas agrupó y correlacionó con la altitud a los sitios de vegetación alterna y recuperación natural y los diferenció de los de matarrasa en franja. El estudio sugirió, además, una recuperación de la calidad del suelo en pocas décadas, dada la similitud entre los sitios de vegetación alterna y recuperación natural. Se recomienda no practicar tratamientos complementarios de escarificación del suelo, sino fomentar la retención del horizonte orgánico para incrementar las posibilidades de mantener las propiedades fisicoquímicas del suelo.

PALABRAS CLAVE: calidad de suelo, conservación, degradación, escarificación, matarrasa en franja, vegetación.

ABSTRACT

One of the biggest problems facing forest management is the degradation and conservation of soil quality. The objective of this work was to carry out an analysis of physical and chemical aspects of the soil in areas subject to forest management in Ixtlán de Juárez, Oaxaca, to provide recommendations for forestry management and soil conservation. Three clear-cut strips and three adjacent sites of alternate vegetation were selected, in addition to a natural recovery site subject to agriculture and forest management in the past. Each site was subdivided into three altitudes (high, medium, and low) at which the soil's physical and chemical properties were analyzed through variance analysis and multivariate (PCA-principal component analysis, MDS-multidimensional scaling analysis, and heatmap). A significant effect of the clear-cut treatment was found on some physical (density, compaction, and porosity) and chemical (carbon, pH, conductivity, nitrogen, and magnesium) properties compared to alternate vegetation. The multivariate analysis of the physicochemical properties (ACP, MDS, and heatmap) grouped and correlated the alternate vegetation and natural recovery sites with altitude and differentiated them from the clear-cut sites. The study also suggests a recovery of soil quality in a few decades, given the similarity between areas of alternate vegetation and natural sites. It is recommended not to practice complementary scarification treatments of the soil. However, on the contrary, its activity promotes the retention of the organic horizon to increase the possibility of maintaining the soil's physicochemical properties.

KEYWORDS: soil quality, conservation, degradation, scarification, clear-cut strip, vegetation.

INTRODUCCIÓN

El suelo y el clima son sistemas dinámicos que desempeñan un rol importante en el desarrollo del ecosistema forestal. El suelo no solo provee soporte físico, sino que es un medio para el desarrollo de la fauna y la flora e influye en la calidad de un sitio, en la tasa del crecimiento del bosque, en la calidad de la madera que ahí se produce; y es un recurso ambiental vital del ciclo del agua, energía y nutrientes (Gayoso y Alarcón, 1999; Binkley y Fisher, 2012). El suelo está conformado por diferentes materiales de origen orgánico y mineral por lo que es un componente ambiental de carácter no renovable en términos de la escala temporal humana, como lo indica la Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). No obstante, este recurso es susceptible de degradación con las actividades de manejo forestal (Rodríguez-Rivera et al., 2018); de acuerdo con Gayoso y Alarcón (1999), debe ser protegido para sustentar sus propiedades y funciones a largo plazo para garantizar una silvicultura sustentable.

Diversos estudios han documentado que las actividades de manejo forestal afectan los suelos, primero, con un efecto directo en la alteración de las propiedades físicas del suelo (e.g. densidad) y, segundo, con un efecto indirecto en las propiedades químicas, debido a la alteración de las propiedades físicas (Certini, 2005). De manera general, el aprovechamiento forestal hace un cambio en la cobertura vegetal, modificando las aportaciones de nutrientes provenientes de la descomposición de la materia orgánica (MO) generada en el proceso de degradación y humificación del mantillo. De la misma manera, cuando se realiza la extracción forestal (apeo, extracción y transporte) se tiene un impacto directo al suelo alterando el medio edáfico, al dejar abiertos los canales de transporte de trozas (De las Salas, 1987). También se incrementan las concentraciones de celulosa, hemicelulosa, lignina y otros compuestos aromáticos durante el transporte de las trozas y su corta (Park y Min, 2003).

Las propiedades del suelo pueden experimentar cambios temporales o permanentes inducidos por la intensidad del manejo forestal (Gayoso y Alarcón, 1999;

Monárrez-González et al., 2018; Rodríguez-Rivera et al., 2018). El aprovechamiento silvícola, en combinación con otras prácticas de manejo forestal, puede tener consecuencias ecológicas en los ecosistemas forestales. Por ejemplo, se han documentado efectos negativos en el almacenamiento y disponibilidad de carbono (C), nitrógeno (N), calcio (Ca), potasio (K) y otros nutrientes, debido a que se pueden afectar las propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos (Dueñez-Alanís et al., 2012). Además, la dominancia de acículas en el mantillo en pinares posee una menor riqueza de nitrógeno y por ello las aportaciones pueden verse limitadas (Christensen, 1992). En este contexto, prácticas inadecuadas de aprovechamiento forestal, donde no se consideren el clima y la topografía, pueden generar un proceso de degradación severo del suelo, ya que influyen en los procesos de deslizamiento y remoción de nutrientes (Rodríguez-Rivera et al., 2018).

A pesar de que el suelo es el principal sostén del bosque, es uno de los recursos que han sufrido falta de atención y regulación, lo cual se ve reflejado en los altos niveles de degradación (Gayoso y Alarcón, 1999). Los diversos tratamientos complementarios (escarificación, rastreo, subsuelo, eliminación de especies, quemas prescritas, etc.), vinculados al manejo forestal, pueden ocasionar un impacto directo sobre el suelo. Las técnicas de preparación de los sitios para favorecer el crecimiento de especies comerciales ocasionan procesos de degradación tales como: extracción de nutrientes por medio de lixiviados, favoreciendo la erosión; pérdida de la estructura del suelo, ocasionando la compactación y el deslizamiento del suelo por medio de deslaves (Gayoso y Alarcón, 1999; Reyes et al., 2014).

Diversos procesos que generan cambio de uso de suelo y prácticas inadecuadas de manejo influyen en la modificación y/o disminución de la cubierta vegetal y generan procesos de erosión, compactación, contaminación, deslizamiento y, como consecuencia, un efecto en los servicios ecosistémicos y abundancia de las especies (Villanueva-Jiménez et al., 2006; Clark-Tapia et al., 2018a;



Clark-Tapia et al., 2018b). El estado en el que se encuentra el suelo es muy importante, ya que es un reflejo de la salud y buen funcionamiento del ecosistema (Clark-Tapia et al., 2018a). Sin embargo, las evaluaciones de aspectos edáficos en bosques mexicanos bajo manejo forestal son escasos (Saynes et al., 2012; Rodríguez-Rivera et al., 2018), aun cuando estos sugieren efectos negativos en las propiedades del suelo.

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio fue realizar un análisis de aspectos físicos y químicos del suelo en áreas sujetas a tratamiento de matarrasa en franja en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, con la finalidad de aportar recomendaciones al manejo forestal y la conservación del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la zona de aprovechamiento forestal de Ixtlán de Juárez, en el estado de Oaxaca, México. El área forma parte de la región denominada Sierra Juárez y está ubicada entre las coordenadas 17°21'24" y 17°21'08" N; 96°28'59" y 96°28'26" W, a una elevación promedio de 2500 m s.n.m. (Fig. 1). La superficie total del predio es de aproximadamente 19 492.44 ha, de las cuales, aproximadamente 45% (8835.44 ha) son consideradas de bosque comercial para madera de pino y encino (Vásquez-Cortez et al., 2018).

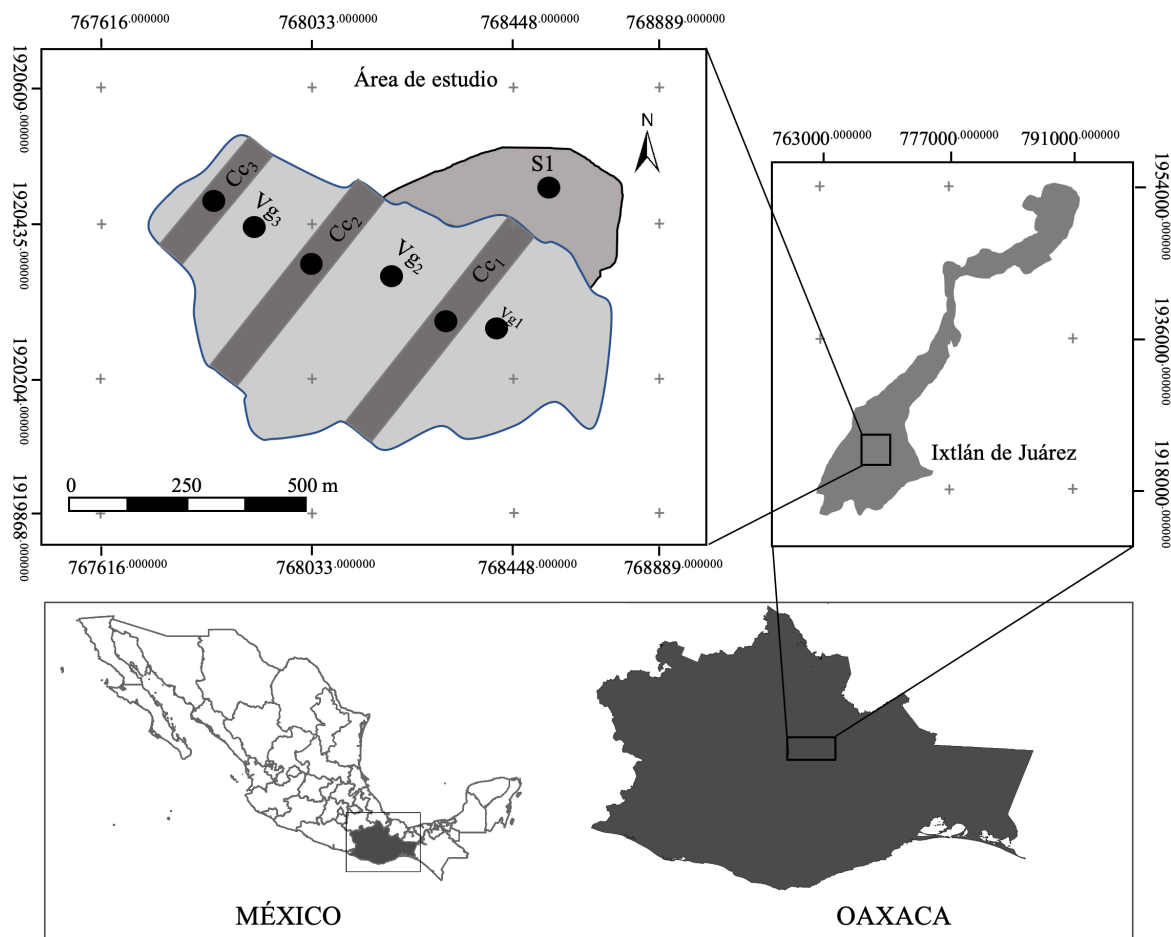


FIGURA 1. Ubicación geográfica de Ixtlán de Juárez y del área de estudio.

Cc= sitios de matarrasa en franja, Vg= sitios de franjas de vegetación alterna y S1= sitio de recuperación natural.

Ixtlán de Juárez es caracterizada por su relieve geográfico heterogéneo, con laderas y pendientes que fluctúan en un intervalo de 40% a 60% y una altitud que varía entre los 1500 m a los 3200 m s.n.m. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano C (w"1)(w)b(i)g (Clark-Tapia et al., 2016a). Pertenece a la Región Hidrológica No. 28 denominada "Papaloapan" y se caracteriza por tener numerosos escurrimientos sinuosos que sirven de recarga al río conocido como "Shoo-Beeto" el cual desemboca en el río Grande (Alfonso-Corrado et al., 2016). La precipitación media anual oscila entre 900 mm y 1700 mm, siendo la temperatura media anual de aproximadamente 18 °C (Clark-Tapia et al., 2016b). El tipo de suelo es Luvisol (l) con textura media limosa, además presenta acumulación de arcilla en el subsuelo (Clark-Tapia et al., 2016c).

La vegetación está constituida por bosque de pino-encino y vegetación secundaria derivada del bosque de pino-encino (Clark-Tapia et al., 2018a). El número de especies vegetales es de aproximadamente 6000, de las cuales, destacan 13 especies del género *Pinus* (Del Castillo et al., 2004) y 23 de *Quercus* (Valencia-Avalos y Nixon, 2004), además de otros géneros como *Arbutus*, *Alnus*, *Prunus*, *Fraxinus* y *Litsea* (Clark-Tapia et al., 2018a).

El sistema silvícola que adoptó en sus inicios la comunidad fue el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), que perduró hasta principios de los 80, cuando fue sustituido por el tratamiento de regeneración de árboles padre con cortas intermedias del Método de Desarrollo Silvícola (MDS), con aplicación de tratamientos de cortas de liberación, preclareos y podas. En el año 2005, la comunidad inició el tratamiento de matarrasa en franja, con remoción total de la vegetación y reforestación con *P. pseudostrugus* var. *apulensis*, y alternadas de franjas de vegetación de pino-encino (Bretado et al., 2018).

Selección de sitios para muestreo

Dentro del área de manejo forestal, se seleccionaron tres franjas bajo el tratamiento de matarrasa en franjas y tres franjas contiguas con vegetación, además de un sitio bajo el

tratamiento de árboles padre (Fig. 1). Los sitios de matarrasa con franjas (Cc) son aquellos en donde se realizó una corta total para la extracción, y posteriormente fueron reforestados con *P. pseudostrugus* y sujetos a tratamientos complementarios antes de la reforestación y tratamientos de chapeo, para facilitar el crecimiento de los pinos. En contraste, los sitios de vegetación alterna (Vg) hacen referencia a las franjas con vegetación adyacente a las matarrasas en la que predomina una asociación de pino-encino (*Pinus pseudostrugus* var. *apulensis*, *P. patula*, *P. teocote*, *Q. castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. glaucoides*, *Q. laurina* y *Q. obtusata*, ver Clark-Tapia et al. (2018a, para un listado más detallado). Los sitios de vegetación alterna fueron sometidos a extracción de árboles en el pasado (\approx 30 años - 40 años) mediante el sistema MMOBI. Actualmente, presentan árboles con una estructura y dosel definido. Adicionalmente, se seleccionó, aledaño al área de estudio, un sitio de recuperación natural (S1), cuya actividad hace 40 años fue agrícola. En el presente, tiene dominancia de *P. pseudostrugus* var. *apulensis*, *P. patula*, *Q. glaucoides*, *Q. laurina* y *Q. obtusata*.

Muestreo de suelo

El muestreo se llevó a cabo en el mes de marzo de 2015, que corresponde al período de secas. En cada sitio seleccionado se colectaron tres muestras, la primera localizada en la parte alta (30 m debajo de la brecha de extracción, para evitar contaminación y mezclas de suelo debido a su apertura); la segunda en la parte media del sitio, con una diferencia de separación de 50 m entre parte alta y la tercera muestra se colectó 50 m abajo de la segunda.

Para la toma de muestras, en cada uno de los sitios descritos anteriormente, primero se procedió a remover mantillo y humus presentes hasta que quedara el suelo desnudo, y después se colectó la muestra a una profundidad de 20 cm. Con la finalidad de tener representado el sitio, se hicieron cinco cuadrantes de 20 cm \times 20 cm, en forma de eje cardinal, partiendo del centro con distancia entre ellos de un metro y tomando de cada cuadrante 300 gramos. Al final, las muestras de cada



parcela se mezclaron para homogeneizarlas y contar con una muestra general de cada sección del sitio. Las muestras fueron colectadas en bolsas de plástico y etiquetadas, posteriormente se trasladaron al laboratorio con el fin de realizar los análisis físicos y químicos.

Secado del suelo

Cada una de las muestras de suelo se colocó en charolas de plástico para ser secadas a temperatura ambiente. Posteriormente, se retiraron todas las partículas de mayor tamaño como piedras, hojas, ramas y raíces. A continuación, el material se pasó por un tamiz de 2000 micrómetros (2 mm), dejando suelo fino para ser empleado en los análisis. El pesado de las muestras durante todo el análisis se realizó en una balanza marca Ohaus modelo Pionner. Para la obtención de la densidad aparente y para el porcentaje de humedad se utilizó suelo sin tamizar.

Propiedades físicas

Una vez obtenido el suelo fino y tamizado, se procedió a la caracterización física de cada muestra, los análisis se hicieron por triplicado para cada parámetro. El porcentaje de humedad (%Hmd) y la capacidad de retención de agua (CRA) se determinaron de acuerdo con el procedimiento descrito por Black (1965). Por otro lado, la densidad aparente (DA) se obtuvo con el método del terrón y parafina, mientras que la densidad real (DR) se llevó a cabo en un picnómetro de 25 ml (Skopp, 2000). La porosidad se calculó como la relación entre la DA y la DR (Skopp, 2000). La textura (porcentaje de arena, limo y arcilla) se determinó por el método de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986) y la compactación del suelo (Cmp) se midió como la resistencia a la penetración en los primeros 10 cm del suelo con un penetrómetro de campo modelo 77108.

Propiedades químicas

El carbono total (Co) se analizó por oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y titulación con HCl 0.1 M (Amato, 1983). El carbono biomasa microbiana (CbI) se determinó con el método de extracción por fumigación con

cloroformo, siguiendo la metodología de Jenkinson y Ladd (1981). La conductividad eléctrica (CE) se midió en una saturación suelo-pasta de extracto (Rhoades et al., 1989), empleando un conductímetro marca OAKTON modelo PC700 calibrado con KCl a 0.1 N. El pH se midió en una suspensión 1:2.5 suelo-agua (Rhoades et al., 1989), utilizando un potenciómetro marca HANNA Instruments modelo H122. Este equipo fue calibrado con *buffer* de calibración a tres puntos (4,7,10) marca J.T. Baker. El nitrógeno inorgánico (N) se analizó en un autoanalizador para N inorgánico marca Skalar. Para estimar la MO se empleó el método de Walkley y Black (1934). Finalmente, para calcular la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}) se utilizó el método de tiourea de plata (AgTU) 0.01 M como solución saturante (Pleysier y Jou, 1980).

Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza de una vía con pruebas de contraste Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas entre altitudes y entre sitios. Para jerarquizar las asociaciones de las características fisicoquímicas a las tres altitudes evaluadas, se estimó su significancia estadística mediante dos pruebas de estadística multivariable, un análisis de componentes principales (ACP) con una matriz varianza-covarianza y 1000 repeticiones. Se hizo también un análisis de escalamiento multidimensional (MDS) con el algoritmo SMACOF (*Scaling by Majorizing a Convex Function*). EL MDS se realizó a partir de una matriz de disimilaridad entre los sitios analizados, y se obtuvo el coeficiente de estrés de Kruskal para probar la ordenación obtenida (Addinsoft, 2015).

Finalmente, para visualizar las agrupaciones diferenciales de los valores relativos de cada propiedad fisicoquímica con mayor o menor similitud entre los sitios, se efectuó un análisis de agrupación a través de la técnica de visualización de mapa de calor (Heatmap). También se aplicó un mapa de calor al análisis de la matriz de correlación. El heatmap es una técnica de visualización

bidimensional para datos de alta dimensión originalmente utilizados en estudios genéticos de diversidad microbiana de suelos (Li et al., 2014) y posteriormente en análisis de las propiedades de suelos (Sheng-Gao et al., 2014). El mapa es un mosaico bidimensional codificado por colores formado por la representación conjunta de dos grupos; uno está orientado a las muestras, mientras que el otro está orientado a las variables. Los valores numéricos se muestran por colores, reorganizados en filas y columnas agrupadas por su similitud, la cual es representada por un dendrograma. Los análisis se hicieron usando el programa R v.3.6.2 (R Development Core Team, 2019) y el software XLSTAT v.2014.3.02 (Addinsoft, 2015).

RESULTADOS

En la tabla 1, se presentan los resultados fisicoquímicos promedio obtenidos de los sitios analizados. Se encontró que el nivel de altitud (superior, media y baja) entre sitios mostró un efecto significativo menor en las propiedades físicas que en las químicas. Las propiedades físicas solo mostraron diferencias en el porcentaje de arena entre la altitud superior y media en el sitio de matarrasa en franja, así como en el porcentaje de limo entre la altitud superior y baja en el sitio de vegetación alterna. En contraste, las propiedades químicas mostraron diferencias entre MO, Co, CbI, CICT y Mg. Estas diferencias entre altitudes son para los sitios de matarrasa en franja y recuperación natural, con excepción del magnesio que mostró diferencias significativas de la parte superior con la media y baja en los sitios de vegetación alterna y recuperación natural (Tabla 1).

Entre sitios, se encontró una mayor diferencia en los valores promedio de las propiedades fisicoquímicas del suelo entre matarrasa en franja y vegetación alterna, que, en el sitio de recuperación natural, al menos una altitud difiere significativamente. La excepción fueron propiedades físicas como la densidad real, la clase de textura limo y la CRA, que no mostraron diferencias entre altitudes. Por otro lado, entre las propiedades físicas con mayor diferencia en los valores promedio se encuentran la DA, la compactación y la porosidad, mientras que en la química fueron el pH y la

CICT. Se observó que las propiedades químicas como el nitrógeno, carbono orgánico y carbono biológico mostraron un mayor valor en matarrasa que en vegetación alterna, en contraste con el pH y CICT cuyos valores fueron menores en matarrasa (Tabla 1).

En la figura 2 se presentan los resultados del ACP, donde se observó una diferencia significativa ($p < 0.05$) y agrupación de los sitios de muestreo por tratamiento. Los dos primeros componentes con criterio de valor propio (>1) explicaron 64.5% de la variabilidad de los datos, distribuidos en 43.8% para el primer factor y 20.97% para el segundo. El análisis multivariado agrupó a los sitios de estudio, donde los sitios de matarrasa (eje 2 y eje 3) se caracterizaron por una fuerte asociación con el nitrógeno y la porosidad. Los sitios de recuperación natural y vegetación alterna se agruparon en una asociación altamente positiva a propiedades fisicoquímicas en el eje 1 y negativa en el eje 4. El estadístico de Bartlett mostró correlación entre las variables ($\chi^2 = 114.27$; $p < 0.001$).

En el análisis de gradiente se observó la distribución de los sitios con propiedades fisicoquímicas similares (Fig. 3), en este análisis se obtuvo un valor de estrés menor a 0.017, que indicó que sí existe un gradiente y no es un comportamiento azaroso. Se registraron de manera general tres grupos, uno en los ejes 1 y 2 integrados por los sitios de vegetación alterna y recuperación natural, y otro integrado con los sitios matarrasa en franja en el eje 3. Además, el análisis mostró mayor agrupación y asociación respecto a la altitud entre sitios de vegetación alterna en comparación con matarrasa en franja.

En el mapa de calor, las correlaciones débiles entre las variables se muestran en verde, mientras que las correlaciones más fuertes se muestran en rojo (Fig. 4). El análisis separó dos grandes clados de sitios, cada uno subdividido en dos subgrupos. El primer sitio, integrado por vegetación alterna (Vg-H), está correlacionado con los sitios de recuperación natural (S1-M y S1-L). El otro clado se subdividió en dos subgrupos, un grupo mostró asociación entre los sitios Cc-M y Cc-L y otro subgrupo correlacionó los sitios Cc-H, S1-H, Vg-M y Vg-L.



TABLA 1. Valores promedio (\pm desv. est.) de las propiedades fisicoquímicas de suelos colectados en la parte alta, media y baja de sitios de matarrasa en franja, vegetación alterna y sitio de recuperación natural en la comunidad de Ixtlán de Juárez, Sierra Juárez, Oaxaca.

Altitud	Matarrasa en franja			Vegetación alterna			Recuperación natural		
Sitio	Superior	Media	Baja	Superior	Media	Baja	Superior	Media	Baja
Propiedades físicas									
DA (kg / m ³)	0.82 \pm 0.11 ^a	0.88 \pm 0.13 ^{ab}	0.84 \pm 0.11 ^a	0.97 \pm 0.08 ^{ab}	0.98 \pm 0.03 ^b	1.05 \pm 0.04 ^b	1.01 \pm 0.11 ^{ab}	0.92 \pm 0.04 ^{ab}	0.91 \pm 0.06 ^{ab}
DR (kg / m ³)	2.03 \pm 0.12 ^a	2.25 \pm 0.08 ^a	2.10 \pm 0.17 ^a	2.20 \pm 0.03 ^a	2.27 \pm 0.14 ^a	2.57 \pm 0.32 ^a	2.08 \pm 0.04 ^a	2.16 \pm 0.08 ^a	2.17 \pm 0.10 ^a
Porosidad (%)	63.5 \pm 4.4 ^{ab}	62.3 \pm 4.8 ^{ab}	65.1 \pm 1.7 ^b	54.9 \pm 3.7 ^{ac}	55.8 \pm 1.1 ^c	57.7 \pm 2.0 ^{ac}	54.6 \pm 2.8 ^{ac}	55.1 \pm 12.1 ^c	55.6 \pm 3.4 ^{ac}
Arena (%)	42.6 \pm 8.0 ^a	30.5 \pm 2.0 ^b	33.5 \pm 19.6 ^{abc}	37.2 \pm 18.2 ^{abc}	28.6 \pm 4.0 ^b	26.4 \pm 14.2 ^{abc}	46.3 \pm 16.6 ^{abc}	31.0 \pm 3.42 ^{abc}	37.9 \pm 18.7 ^{abc}
Limo (%)	23.4 \pm 6.0 ^a	23.5 \pm 15.9 ^a	15.0 \pm 7.9 ^a	17.4 \pm 6.0 ^a	33.4 \pm 14.0 ^a	15.0 \pm 4.5 ^a	22.7 \pm 4.6 ^a	21.2 \pm 2.5 ^a	17.7 \pm 3.2 ^a
Arcilla (%)	34.0 \pm 11.0 ^a	46.0 \pm 17.4 ^{abc}	51.5 \pm 13.8 ^{bc}	45.33 \pm 14.1 ^{abc}	48.0 \pm 11.1 ^{bc}	58.7 \pm 9.9 ^{bc}	42.0 \pm 5.7 ^{ab}	57.8 \pm 8.2 ^{bc}	62.5 \pm 3.5 ^c
Humedad (%)	13.3 \pm 6.8 ^{ab}	9.2 \pm 5.4 ^b	12.7 \pm 6.0 ^{ab}	19.8 \pm 5.1 ^{abc}	14.6 \pm 5.0 ^{abc}	19.0 \pm 1.2 ^{ac}	23.2 \pm 1.5 ^{acd}	26.9 \pm 9.4 ^{abcd}	27.6 \pm 2.5 ^d
CRA	176.0 \pm 22.7 ^a	245.3 \pm 72.9 ^a	258.1 \pm 115.7 ^a	267.8 \pm 100.0 ^a	300.4 \pm 114.4 ^a	256.6 \pm 135.3 ^a	261.1 \pm 229.3 ^a	245.6 \pm 185.3 ^a	241.2 \pm 213.2 ^a
Cmp (MPa)	0.87 \pm 0.34 ^a	0.93 \pm 0.29 ^a	0.76 \pm 0.38 ^a	4.47 \pm 1.24 ^b	3.76 \pm 1.03 ^b	4.76 \pm 1.78 ^b	3.07 \pm 1.43 ^b	4.71 \pm 1.29 ^b	4.07 \pm 1.58 ^b
Propiedades químicas									
OM (%)	11.92 \pm 1.84 ^a	9.58 \pm 4.76 ^{ab}	4.02 \pm 2.98 ^b	16.93 \pm 1.88 ^c	16.28 \pm 3.69 ^{ac}	13.98 \pm 1.96 ^{ac}	14.20 \pm 1.59 ^{ac}	17.15 \pm 1.57 ^c	16.98 \pm 3.47 ^{ac}
Carbono total (%)	5.95 \pm 2.58 ^a	6.92 \pm 1.06 ^{ab}	6.92 \pm 1.06 ^b	6.92 \pm 1.06 ^{abc}	5.19 \pm 1.89 ^{ab}	4.67 \pm 1.37 ^{ab}	8.65 \pm 0.32 ^c	8.29 \pm 1.43 ^{ac}	8.45 \pm 0.04 ^c
Cbl	16.3 \pm 3.9 ^a	62.5 \pm 9.0 ^b	70.3 \pm 35.5 ^{bc}	38.3 \pm 16.7 ^{bc}	30.6 \pm 8.4 ^c	39.2 \pm 15.6 ^{bc}	26.5 \pm 14.0 ^{abc}	93.3 \pm 27.8 ^{bd}	58.3 \pm 26.9 ^{bcd}
pH	4.85 \pm 0.18 ^{ab}	4.79 \pm 0.10 ^a	4.26 \pm 0.52 ^a	5.25 \pm 0.26 ^b	5.52 \pm 0.24 ^b	5.14 \pm 0.19 ^b	5.23 \pm 0.56 ^{ab}	4.85 \pm 0.50 ^{ab}	5.28 \pm 0.10 ^b
CICT (cmol kg ⁻¹)	21.1 \pm 3.4 ^a	25.2 \pm 1.3 ^a	23.5 \pm 5.0 ^{ab}	30.3 \pm 3.4 ^{bc}	27.5 \pm 3.0 ^{abc}	33.1 \pm 3.6 ^{bc}	33.1 \pm 2.5 ^c	31.6 \pm 4.0 ^{bc}	27.3 \pm 1.6 ^{ab}
Nitrogeno	1043.6 \pm 67.6 ^a	1044.0 \pm 106.3 ^a	1067.8 \pm 107.1 ^a	868.5 \pm 155.3 ^{ab}	905.8 \pm 186.6 ^{ab}	738.6 \pm 159.3 ^b	927.7 \pm 275.7 ^{ab}	861.5 \pm 164.8 ^{ab}	745.5 \pm 296.7 ^{ab}
Ca ⁺⁺ (cmol kg ⁻¹)	8.31 \pm 1.63 ^{ab}	6.00 \pm 1.69 ^{ab}	6.00 \pm 1.69 ^{ab}	6.00 \pm 1.69 ^{ac}	6.20 \pm 2.02 ^{abc}	7.38 \pm 0.96 ^{bc}	9.32 \pm 1.24 ^{ac}	7.25 \pm 1.05 ^{bc}	7.98 \pm 2.02 ^{abc}
Mg ⁺⁺ (cmol kg ⁻¹)	2.41 \pm 0.62 ^{ab}	1.19 \pm 1.03 ^{ab}	2.41 \pm 0.70 ^{ab}	15.16 \pm 10.92 ^c	2.93 \pm 0.17 ^{ad}	1.87 \pm 0.30 ^{ab}	1.03 \pm 0.19 ^{ab}	218 \pm 0.41 ^{ad}	3.96 \pm 1.60 ^{abcd}

DA- densidad aparente, DR- densidad real, CRA- capacidad de retención de agua, Cmp- compactación, MO(%) - porcentaje de materia orgánica, Cbl- Carbono biomasa, pH- potencial de hidrogeno, CICT- capacidad de intercambio catiónico, Ca⁺⁺- calcio, Mg⁺⁺- magnesio.

Letras diferentes indican diferencias significativas $P < 0.05$

Además, el análisis del mapa de calor generó un dendrograma que diferenciaba dos clados en las propiedades fisicoquímicas del suelo (Fig. 4). El clado 1 está formado por cuatro propiedades físicas (Hd, Cmp, Sd y Cy) y cinco químicas (Ca, MO, Mg, Co y Cbl) que mostraron valores más altos en S1-M, S1-L y Vg-H, mientras que en

Cc-M y Cc-L fueron inferiores. El segundo clado se correlacionó con cinco propiedades físicas (St, Pd, DA, DA y CRA) y tres propiedades químicas (pH, N y CICT), donde Cc-M y Cc-L registraron los valores más altos y S1-L los más bajos.

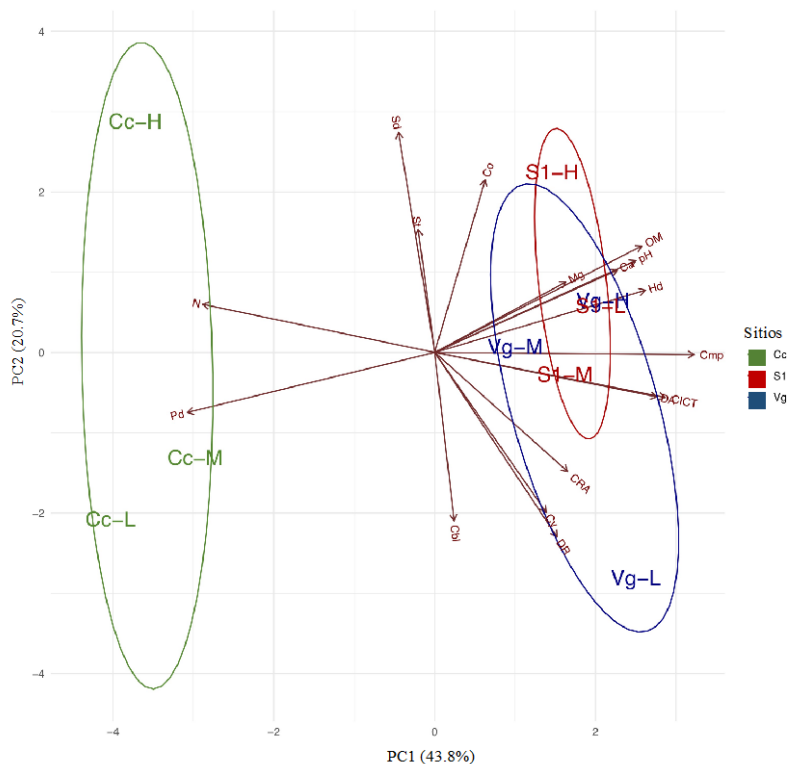


FIGURA 2. Análisis de componentes principales (ACP) a partir de datos promedio de suelo de los tres sitios de cada condición estudiada.

Cc-H, Cc-M y Cc-L- matarrasa en franja: parte alta, media y baja, respectivamente. Vg-H, Vg-M y Vg-L- vegetación alterna: parte alta, media y baja, respectivamente. S1-H, S1-M y S1-L- sitio de recuperación natural: parte alta, media y baja, respectivamente.

Las variables fisicoquímicas consideradas fueron densidad aparente (DA), densidad real (DR), porcentaje de humedad (Hd), porosidad (Pd), arena (Sd), arcilla (Cy), limo (St), capacidad de retención de agua (CRA), carbono total (Co), carbono biomasa (CbI), potencial de hidrógeno (pH), porcentaje de materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CICT), nitrógeno (N), magnesio (Mg) y calcio (Ca), compactación (Cmp).

DISCUSIÓN

El suelo es un recurso indispensable, primero por considerarse no renovable, y segundo por ser el soporte físico de la vida y cuya función es dinámica, compleja e interactiva, por lo que debe ser protegido para conservar sus propiedades y funciones en el ecosistema. En este estudio se encontró que las actividades intensas como la matarrasa en franja alterna afectan directa e indirectamente a las propiedades físicas y químicas del suelo, por lo menos en el área de estudio analizada.

De acuerdo con Certini (2005) y Rodríguez-Rivera et al. (2018), las actividades de manejo forestal afectan en forma directa a las propiedades físicas de densidad, estructura, porosidad y compactación del suelo. En este estudio, no todas las propiedades físicas mostraron

diferencias significativas (e.g. densidad real, porcentaje de humedad y capacidad de retención de agua), entre los sitios de matarrasa en franja y vegetación alterna. Sin embargo, existe un cambio negativo, particularmente en Compactación, densidad aparente y porosidad. Un cambio significativo en estas propiedades físicas en sinergia con un cambio en el pH y la capacidad de intercambio catiónico implica una mayor liberación de partículas finas (arcillas) (Ellies, 1995; Rodríguez-Rivera et al., 2018), como ocurre en los suelos bajo tratamiento con matarrasa. El cambio porcentual en la relación arena-arcilla-limo, así como el contenido de MO y minerales que dan forma y/o modifican al tipo o unidad de suelo, son factores que se deben tomar en cuenta, particularmente porque en el área de estudio predominan el suelo de tipo Luvisol y Cambisol, ambos de



origen residual y baja litificación que los hace propensos a deslizamientos o erosión (Clark-Tapia et al., 2016c).

En el área de estudio, el tratamiento de matarrasa en franja y la escarificación del suelo como tratamiento complementario representan un cambio drástico en el suelo que propicia su degradación al dejarlo expuesto, primero por la remoción total del arbolado, y después por la remoción del horizonte orgánico superficial (Rodríguez-Rivera et al., 2018). El objetivo de la matarrasa en franja es incrementar la producción, eliminar la competencia y propiciar una estructura coetánea regular, lo cual puede ser una estrategia correcta. Sin embargo, no se recomienda la

escarificación del suelo, aun cuando este proceso controla o elimina la competencia y favorece el establecimiento de las especies forestales intolerantes deseadas (Resco de Dios et al., 2005). Dicho tratamiento no es viable debido a las pendientes pronunciadas y al horizonte orgánico delgado. Además, la existencia de programas intensos de reforestación y la eficiente regeneración natural (Clark-Tapia et al., 2018a; Vázquez-Cortez et al., 2018) permiten lograr la estructura deseada descrita en el programa de manejo forestal de 2003-2013 (Técnica Informática Aplicada S.A. [TIASA], 2003).

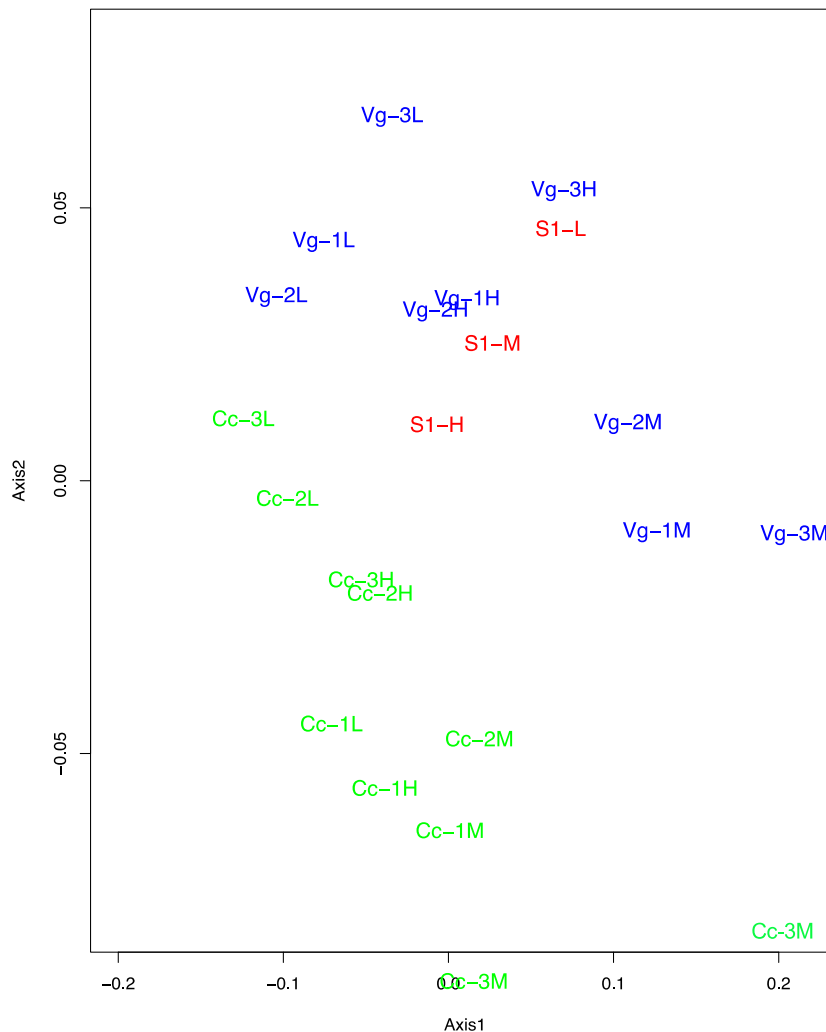


FIGURA 3. Análisis de ordenamiento multidimensional de las propiedades del suelo por sitio analizado.

Sitios (1, 2 y 3) en matarrasa en franja (Cc), vegetación alterna (Vg) y recuperación natural (S1) y su localización por altitud alta (-H), media (-M) y baja (-B).

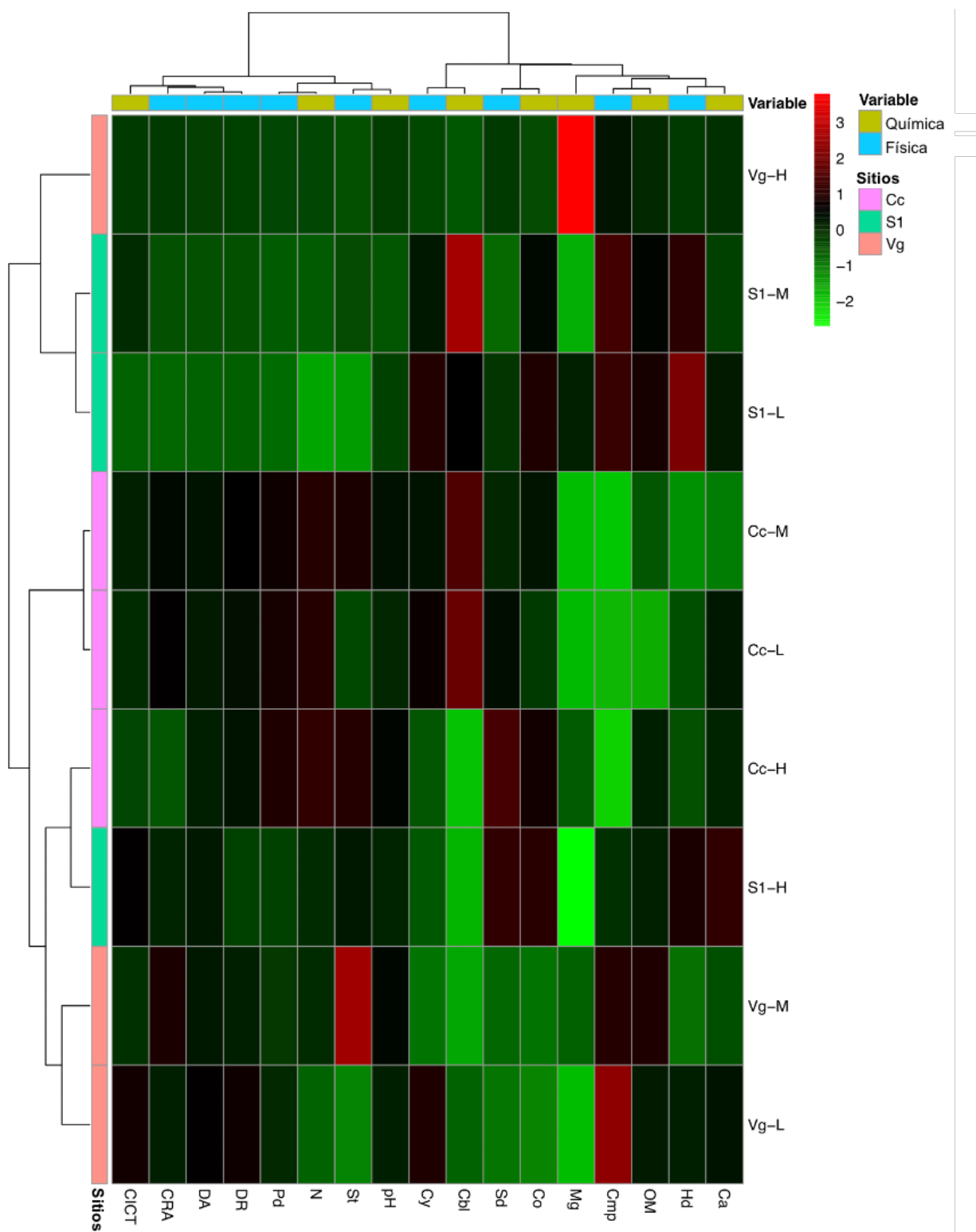


FIGURA 4. Mapa de calor basado en el valor relativo de las propiedades fisicoquímicas del suelo (en filas) de los sitios analizados (en columnas).

El color verde claro significa el valor mínimo y aumenta hacia el color rojo. Para conocer las abreviaciones, ver las figuras 2 y 3.



La conservación del suelo en áreas bajo manejo ha sido orientada principalmente a solventar problemas de erosión, como se puede apreciar en el manual de conservación de suelos (Conafor, 2010) o en el manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación (Vargas, 2013), en los que se sugieren los efectos favorables de la retención de residuos, beneficiando la biodiversidad y el ciclado de nutrientes. No obstante, la información para la conservación del suelo es mínima o nula. La conservación del horizonte orgánico (mantillo) es un paso para favorecer los servicios ecosistémicos en el suelo. Retener el mantillo implica asegurar un porcentaje de humedad, que es una variable de importancia para determinar los regímenes de la compactación del suelo (Gayoso y Alarcón, 1999) y favorecer la infiltración y captación de agua (Clark-Tapia et al., 2018b). Además, favorecen tanto una CRA estable como la biodiversidad de microorganismos que facilitan la tasa de descomposición, liberación, movilización de nutrientes (Alvear et al., 2007).

No obstante, el cambio en la vegetación y el cambio directo en las propiedades físicas propiciaron un efecto indirecto en las propiedades químicas, como lo mencionan Certini (2005), Reyes et al. (2014), Rodríguez-Rivera et al. (2018) para áreas bajo manejo forestal. La retención de MO, hojarasca, troncos y ramas, minimizan el impacto al suelo y pueden apoyar a mantener los nutrimentos (Van Lear y Waldrop, 1991; Leal et al., 2007; Reyes et al., 2014). En suelos expuestos, un incremento en evapotranspiración y lixiviación, acompañado con cambios en la MO puede afectar su pH, haciéndolo más ácido (Vela-Correa et al., 2007; Lázaro-Dzul et al., 2012). Aun cuando el pH de los suelos en Sierra Juárez es moderadamente ácido (5.1-6.5) a fuertemente ácido (< 5.0), los resultados indicaron una tendencia a volverse fuertemente ácido en condiciones de matarrasa.

La modificación de pH y conductividad es de suma importancia dado que afecta la capacidad de mineralización y solubilización de los nutrientes en el suelo por bacterias, hongos y plantas (Kass, 1998) y, con ello, incrementa la probabilidad de lixiviación o pérdida de nutrientes. La disminución en concentración de diferentes nutrientes,

como iones Ca y Mg, puede ser atribuida a procesos de lixiviación, de acuerdo con Ortiz (2010). Sin embargo, puede ser debida también al consumo generado por la vegetación secundaria que colonizó los espacios después de la matarrasa, como ocurre con el incremento de carbono orgánico, carbono biológico y nitrógeno. Este resultado contrasta con los de Saynes et al. (2012), quienes encontraron una disminución en las concentraciones de carbono total y biomasa microbiana del suelo en un bosque de pino-encino de Ixtlán manejado, 20 años después de la extracción.

Un aspecto por destacar en este estudio, y que deberá ser explorado a mayor detalle en estudios próximos, son los resultados obtenidos entre los sitios de vegetación alterna (antiguamente aprovechados) y el sitio de recuperación natural. En este sitio, las propiedades fisicoquímicas son muy similares a las de los sitios de vegetación alterna, con excepción de alguna altitud (superior, media o baja) que difiere en humedad, carbono, o magnesio. De modo que el suelo en Ixtlán tiene una recuperación de su calidad en una escala humana corta (40 años-50 años), lo cual contrasta con lo señalado por Saynes et al. (2012). Así mismo, Monárrez-González et al. (2018) afirman que el impacto del manejo forestal y la resiliencia del ecosistema forestal dependen de la intensidad de remoción del estrato arbóreo, la productividad del sitio y de una escala temporal después de la perturbación entre 20 a 40 años, puede reducir el impacto en los servicios ecosistémicos y hacer que el efecto de los tratamientos silvícolas no sea perceptible, como se ha sugerido en otros sistemas de manejo (e.g. Zhang et al., 2016).

Lal (1997) sugiere que los suelos pueden ser resistentes a cambios, sin embargo, estas características dependerán de las propiedades biofísicas del suelo (clima, orografía, latitud, calidad del suelo, biodiversidad, etc.) que regirán la velocidad de recuperación. Saynes et al. (2012) encontraron que las condiciones climáticas (cantidad de lluvia al año), aparte de la intensidad de manejo, son un factor para considerar en la recuperación de las propiedades químicas. Las características fisicoquímicas de los sitios de recuperación natural, no implica necesariamente una restauración de su función ecosistémica (e.g. ciclo y transformación de nutrientes, recurso hídrico, etc.), o un

escenario a futuro para los sitios de matarrasa. Habrá que estudiar a futuro la dirección de los cambios por efectos en la cantidad y estacionalidad de la precipitación e incremento en la temperatura en la región (Clark-Tapia et al. 2016b), así como el efecto de una estructura coetánea regular en calidad y resiliencia del suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que el tratamiento de matarrasa en franja alterna afecta a las propiedades fisicoquímicas en comparación con sitios adyacentes de vegetación alterna. El estudio sugiere, además, una recuperación de la calidad del suelo en pocas décadas, dada la similitud entre los sitios de vegetación alterna y recuperación natural. Este trabajo es un primer aporte al estudio de las propiedades fisicoquímicas en suelos bajo tratamiento de matarrasa en franja alterna en Ixtlán de Juárez. Sin embargo, dada la alta variabilidad climática y orográfica, se recomienda continuar con nuevos estudios que involucren calidad y resiliencia de los suelos.

Se recomienda no practicar tratamientos complementarios de escarificación del suelo, sino al contrario, fomentar la retención del horizonte orgánico, para incrementar las posibilidades de mantener las propiedades fisicoquímicas del suelo.

RECONOCIMIENTOS

Al Conacyt por la beca otorgada para el estudio de doctorado. A las autoridades comunales de Ixtlán de Juárez por las facilidades brindadas al presente estudio.

REFERENCIAS

- AddinSoft. (2014). XLSTAT (versión 2014.3.02). Addinsoft, Inc.
- Alfonso-Corrado, C., Pérez-Legaspi, A., Campos-Contreras, J., Gorgonio-Ramírez, M., Velasco-Hipólito, F., & Clark-Tapia, R. (2016). Región hidrológica 28: *Cuenca del Papaloapan*. En R. Clark-Tapia, M. F. Ramos-Morales, C. Alfonso-Corrado, M. M. Mendoza-Díaz, & M. E. Fuente Carrasco (Eds.), *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca: Caracterización, Diagnóstico y Gestión* (1ª ed., pp. 12–23). Universidad de la Sierra Juárez.
- Alvear, M., Reyes, F., Morales, A., Arriagada, C., & Reyes, M. (2007). Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología Austral*, 17, 113–122.
- Binkley, D., & Fisher, R. (2012). *Ecology and management of forest soils*. John Wiley y Sons.
- Black, C. (1965). *Chemical and microbiological properties. Methods of soil analysis*, Part 3. American Society of Agronomy.
- Bretado Velázquez, J. L., Clark-Tapia, R., Fuente Carrasco, M. E., Aguirre-Hidalgo, V., Ramos Morales, M. F. & Sarmiento Bustos, D. (2018). Introducción al manejo forestal comunitario. En R. Clark-Tapia, M. E. Fuente-Carrasco, C. Corrado-Alfonso, M. F. Ramos-Morales, & V. Aguirre-Hidalgo (Coords), *Manejo forestal comunitario y sustentabilidad en Sierra Juárez, Oaxaca* (1ª ed., pp. 35–48). Editorial Fontamara.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
- Clark-Tapia, R., Suárez-Mota, M. E., Venegas-Barrera, C. S., & Velasco-Hipólito, F. (2016a). Clima. En R. Clark-Tapia, M. F. Ramos-Morales, C. Alfonso-Corrado, M. M. Mendoza-Díaz, & M. E. Fuente Carrasco (Eds.), *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca: caracterización, diagnóstico y gestión* (1ª ed., pp. 43–47). Universidad de la Sierra Juárez.
- Clark-Tapia, R., Suárez-Mota, M. E., Matías-Nolasco, M., & Velasco-Hipólito, F. (2016b). Clima: pasado, presente y futuro. En R. Clark-Tapia, M. F. Ramos-Morales, C. Alfonso-Corrado, M. M. Mendoza-Díaz, & M. E. Fuente Carrasco (Eds.), *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca: caracterización, diagnóstico y gestión* (1ª ed., pp. 48–57). Universidad de la Sierra Juárez.
- Clark-Tapia, R., Rodríguez-Rivera, V., Ramos-Morales M. F., & Velasco-Hipólito, F. (2016c). Tipos de suelos. En R. Clark-Tapia, M. F. Ramos-Morales, C. Alfonso-Corrado, M. M. Mendoza-Díaz, & M. E. Fuente Carrasco (Eds.), *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca: caracterización, diagnóstico y gestión* (1ª ed., pp. 35–42). Universidad de la Sierra Juárez.
- Clark-Tapia, R., Aguirre-Hidalgo, V., Alfonso-Corrado, C., Ramírez-Santiago, R., Domínguez Yescas, R., Antúnez, P., Aquino, V. C. Jiménez-Bautista, L., Aparicio-Gallardo, M., Vázquez, D. P. R. & Sarmiento B. D. (2018a). Estructura, composición y diversidad de la vegetación en áreas de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. En R. Clark-Tapia, M. E. Fuente-Carrasco, C. Corrado-Alfonso, M. F. Ramos-Morales, & V. Aguirre-Hidalgo (Coords), *Manejo forestal comunitario y sustentabilidad en Sierra Juárez, Oaxaca* (1ª ed., pp. 69–94). Editorial Fontamara.
- Clark-Tapia, R., Mendoza, D. M. M., Fuente-Carrasco, M. E., López, L. L. J., Ramos, F. M. F., Cortés, P. M., Rodríguez-Rivera, R. & Camacho, M. A. (2018b). Bosque y agua en Sierra Juárez, Oaxaca.



- En R. Clark-Tapia, M. E. Fuente-Carrasco, C. Corrado-Alfonso, M. F. Ramos-Morales, & V. Aguirre-Hidalgo (Coords), *Manejo Forestal Comunitario y Sustentabilidad en Sierra Juárez, Oaxaca* (1ª ed., pp. 189–204). Editorial Fontamara.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). *Manual de conservación de suelos*.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?grupo=20&articulo=1310>
- Christensen, B.T. (1992). Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, 20, 1–90. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2930-8_1
- Del Castillo, R. F., Pérez de la Rosa, J. A., Vargas, A., & Rivera, R. (2004). Coníferas. En A. J. García-Mendoza; M. Ordóñez, & M. Briones (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (1ª ed., pp. 141–158). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-WWF.
- Dueñez-Alanis, J., Gutiérrez, J., Pérez, L., & Nívar, J. (2006). Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimiento superficial y erosión. *Terra Latinoamericana*, 24, 233–240.
- Ellies, A. (1995). Efecto del manejo sobre las propiedades físicas de suelos trumaos y rojo arcillosos. *Bosque*, 16, 101–110.
- Gayoso, J., & Alarcón, D. (1999). *Guía de conservación de suelos forestales*. Proyecto Certificación del Manejo Forestal en las Regiones Octava, Décima y Duodécima. INFOR. Universidad Austral de Chile.
- Gee, G. W., & Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. n A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical Methods* (pp. 383–411). ASA, SSSA.
- Jekinson, D. S., & Ladd, J. N. (1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover. En E. A. Paul, & J. N. Ladd (Eds), *Soil Biochemistry*, (Vol. 5, pp. 425–471). Marcel Dekker.
- Kass, D. (1998). *Fertilidad de suelos*. Editorial EUNED.
- Lal, R. (1997). Degradation and resilience of soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 352(1356), 997–1010. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0078>
- Lázaro-Dzul, M. O., Velázquez-Mendoza, J., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., Álvarez-Sánchez, M. E., & López-López, M. A. (2012). Fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium in *Pinus patula* Schl. et Cham samplings. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1), 33–42. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.01.001>.
- Leal, C. Z., Díaz, S. J., Schiettecatte, W., Ruiz, E. M., & Almoza, H. Y. (2007). Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguatzeje. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16, 76–83.
- Li, H., Ye, D., Wang, X., Settles, M. L., Wang, J., Hao, Z., Shou, L., Dong, P., Jiang, Y., & Ma, Z. S. (2014). Soil bacterial communities of different natural forest types in Northeast China. *Plant and Soil*, 383(1-2), 203–216. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2165-y>
- Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A. & González-Elizondo, M. S. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), e2421569. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421569>.
- Ortiz, C. A. (2010). *Edafología*. 8a. Universidad Autónoma Chapingo.
- Park, H., & Min, K. H. (2003). Lignin degradation of pine wood by unidentified decay fungi and observation by scanning electron microscope. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 31(4), 71–80.
- Pleysier, J. L., & Juo, A. S. R. (1980). A single-extraction method using silver-thiourea for measuring exchangeable cations and effective CEC in soils with variable charges. *Soil Science*, 129(4), 205–211.
- R Development Core Team. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Resco de Dios, V., Yoshida, T., & Iga, Y. (2005). Effects of topsoil removal by soil-scarification on regeneration dynamics of mixed forests in Hokkaido, Northern Japan. *Forest Ecology and Management*, 215, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.010>
- Reyes, J., Thiers, O., & Gerding, V. (2014). Characterization of soil properties of *Nothofagus* spp. forest with and without scarification in the Andean region of Southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1, 101–113. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000008>
- Rodríguez-Rivera, V., Zaragoza L. K., Dendooven, L., Clark-Tapia, R., Ramírez-Santiago, R. & Santiago, P. A. (2018). Suelo: un recurso forestal valioso e indispensable. En R. Clark-Tapia, M. E. Fuente-Carrasco, C. Corrado-Alfonso, M. F. Ramos-Morales, & V. Aguirre-Hidalgo (Coords), *Manejo forestal comunitario y sustentabilidad en Sierra Juárez, Oaxaca* (1ª ed., pp. 205–222). Editorial Fontamara.
- Rhoades, J. D., Manteghi, N. A., Shouse, P. J., & Alves, W. J. (1989). Estimating Soil Salinity from Saturated Soil-Paste Electrical Conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 53(2), 428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300020019x>.
- Saynes, V., Etchevers, J. D., Galicia, L., Hidalgo, C., & Campo, J. (2012). Soil carbon dynamics in high-elevation temperate forests of

- Oaxaca (Mexico), thinning and rainfall effects. *Bosque*, 33(1), 3–11.
- De las Salas, G. (1987). *Suelos y ecosistemas forestales; con énfasis en América tropical*. Colección Libros y Materiales Educativos, IICA.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudio, muestreo y análisis Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sheng-Gao, L., Zaffar, M., Dan-Ping, C., & Cheng-Feng, W. (2014). Porosity and pore size distribution of Ultisols and correlations to soil iron oxides. *Catena*, 123, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.010>
- Skopp, J. M. (2000). Physical properties of primary particles A3-A17. In M. E. Sumner (Ed.), *Handbook of soil science*. CRC Press.
- Técnica Informática Aplicada S.A. [TIASA] (2003). *Programa de manejo forestal para el aprovechamiento persistente de los recursos naturales forestales maderables ciclo 2003-2013, para la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México*.
- Valencia-Avalos, S., & Nixon, K. C. (2004). Encinos. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez, & M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (1ª ed., pp. 219–225). Instituto de Biología-UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund.
- Van Lear, H. D., & Waldrop, T. (1991). Prescribed burning for regeneration. En M. L. Duryea, & M. P. Dougherty (Eds.), *Forest regeneration manual* (pp. 235–250). Kluwer Academic Publishers.
- Vásquez-Cortez, V. F., Clark-Tapia, R., Manzano-Méndez, F., González-Adame, G., & Aguirre-Hidalgo, V. (2018). Estructura, composición y diversidad arbórea y arbustiva en tres condiciones de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 24(3), e2431649. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431649>
- Vargas, L. B. (2013). *Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México*. Comisión Nacional Forestal, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Rainforest Alliance Inc. A.C.
- Vela-Correa, G., Vázquez-Martínez, B. E., Rodríguez-Gamiño, M., & Domínguez-Rubio, I. V. (2007). Caracterización edáfica de sitios con regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb., en el volcán La Malinche, México. *Agrociencia*, 41, 371–383.
- Villanueva-Jiménez, E., Villegas-Ríos, M., Cifuentes-Blanco, J., & León-Avendaño, H. (2006). Diversidad del género *Amanita* en dos áreas con diferente condición silvícola en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77, 17–22.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29–38.
- Zhang, C., Liu, G., Xue, S., & Wang, G. (2016). Soil bacterial community dynamics reflect changes in plant community and soil properties during the secondary succession of abandoned farmland in the Loess Plateau. *Soil Biology and Biochemistry*, 97, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.02.013>

Manuscrito recibido el 25 de marzo de 2022

Aceptado el 08 de enero de 2023

Publicado el 26 de abril de 2023

Este documento se debe citar como:

Rodríguez-Rivera, V., Zaragoza-López, K., Clark-Tapia, R., & Ramírez Santiago, R. (2023). Efecto del manejo forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 29(1), e2912476. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912476>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.