

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Variabilidad temporal de parámetros físicos y químicos en suelos Andisoles con plantaciones de teca *Tectona grandis* L. f.

Temporal variability of physical and chemical parameters in Andisols with *Tectona grandis* L. f plantations

Mariann José Espinoza Acuña¹, Frankling Alexander Calero Montano², Joost Alexanco Cordonero Hernández³, Juana María Soza Mejía⁴

¹ Ingeniera forestal, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-8297> / mareacuna11@gmail.com; mariann.espinoza@ci.una.edu.ni

² Licenciado en Química, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5653-654X> / frankling.calero@ci.una.edu.ni

³ Ingeniero en Recursos Naturales con mención en Gestión Ambiental, graduado UNA, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3325-6887> / joostalexanco86@gmail.com

⁴ Ingeniera en Recursos Naturales con mención en Gestión Ambiental, graduada UNA, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2169-8578> / sozamejia11@gmail.com

Universidad Nacional Agraria (UNA), Dirección Específica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático

Autor para correspondencia: frankling.calero@ci.una.edu.ni



RESUMEN

La composición del suelo es variable en diferentes direcciones del espacio y tiempo, influenciado por factores naturales y de manejo; las plantaciones forestales pueden tener un efecto benéfico en los parámetros físicos y químicos del suelo. El objetivo de este estudio es verificar la variabilidad temporal de los suelos Andisoles con plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L. f.) mediante comparación de parámetros físicos y químicos medidos en dos momentos. Se tomó como base la caracterización de suelos realizado en el año 2012 en fincas forestales ubicadas en el municipio de El Viejo, Chinandega, Nicaragua, de ésta, se seleccionaron 10 calicatas. En el año 2023 se tomó una muestra de suelo del horizonte superficial de cada calicata para realizar análisis de laboratorio de sus parámetros físicos y químicos, y compararlo con los datos registrados en el 2012. La comparación de medias se hizo mediante la prueba t-Student y

ABSTRACT

Soil composition varies across spatial and temporal scales, influenced by both natural factors and management practices. Forest plantations can have beneficial effects on the physical and chemical properties of soil. The objective of this study was to evaluate the temporal variability of Andisol soils under teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations by comparing selected physical and chemical parameters measured at two points in time. The baseline data were obtained from a soil characterization conducted in 2012 on forest farms located in the municipality of El Viejo, Chinandega, Nicaragua, from which ten soil pits were selected. In 2023, a sample from the surface horizon of each pit was collected for laboratory analysis of physical and chemical properties, and the results were compared with the 2012 data. Statistical comparisons of means were conducted using paired sample t-tests and Wilcoxon signed-

Recibido: 7 de agosto del 2024
Aceptado: 8 de abril del 2025



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2025. Universidad Nacional Agraria (UNA).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Wilcoxon para muestras pareadas con el software R. Se determinó que los parámetros potasio, calcio, zinc, manganeso, azufre, densidad aparente y porcentaje de limo, no presentaron diferencias significativas; no así para el potencial de hidrogeno, materia orgánica, nitrógeno, cobre y porcentaje de arcilla, que presentaron incrementos; el hierro y porcentaje de arena mostraron una disminución. Se concluye que la variabilidad temporal se expresa principalmente en los contenidos de macronutrientes y textura del suelo; y que las plantaciones de teca contribuyen positivamente a la mejora de la fertilidad del suelo, reflejando una evolución favorable en los contenidos de nutrientes y textura a lo largo del tiempo.

Palabras clave: fertilidad física, fertilidad química, materia orgánica, macronutrientes, micronutrientes.

rank tests in the R statistical software. The analysis revealed that potassium, calcium, zinc, manganese, sulfur, bulk density, and silt content did not show statistically significant differences over time. In contrast, pH, organic matter, nitrogen, copper, and clay content increased significantly, while iron content and sand percentage decreased. It is concluded that temporal variability is mainly reflected in macronutrient levels and soil texture. Furthermore, teak plantations positively contribute to improving soil fertility, showing favorable trends in nutrient availability and texture over time.

Keyword: Physical fertility, chemical fertility, organic matter, macronutrients, micronutrients.

El suelo es variable a nivel espacial y temporal, “las parámetros del suelo varían conforme ocurren los cambios del paisaje y del relieve, y por este motivo un muestreo de suelo eficaz es aquel capaz de detectar tales variaciones de las parámetros del suelo” (Siqueira *et al.*, 2007). Jenny (1994) afirma que todos los suelos son anisotrópicos (propiedades diferentes según la dirección de medición), es decir la distribución espacial de las características del suelo no es aleatoria, sino distinta en diferentes direcciones del espacio. Por tal razón se expresa que “el suelo tiene un perfil” el cual debe ser estudiado.

Existe un amplio rango de tasa de crecimiento de las especies forestales debido a las diferencias de los suelos. El crecimiento de *Tectona grandis* (Teca) es mucho más rápido en suelos profundos, fértiles y bien drenados a lo largo de las orillas de los arroyos, que en las colinas, donde el suelo es menos fértil, menos profundo y seco, mientras que su en suelos derivados de piedras calizas, es casi tan rápido como en suelos sedimentarios (Tanaka *et al.*, 1998). Alvarado (2006) expresa que la Teca puede remover apreciables cantidades de nutrientes, no obstante, puede crecer en suelos relativamente poco fértiles con buena estructura, drenaje, enmiendas y fertilizantes. En ciertas ocasiones, el crecimiento de esta especie se ve afectado por factores edáficos adversos en el subsuelo.

El uso histórico del suelo tiene grandes efectos sobre la variabilidad de sus parámetros. Diferencias en el manejo del agua, de los fertilizantes y de los abonos orgánicos, tanto en el tipo como en la forma de aplicarlos, generan diferencias en la variabilidad de los contenidos de nutrientes en el suelo. Los cambios en el laboreo también producen efectos similares. (Cambardella *et al.*, 1994; Cambardella y Karlen, 1999; Amador *et al.*, 2000; Castrignanò *et al.*, 2000; Paz-González *et al.*, 2000; Mallarino *et*

al., 2001; Jaramillo, 2008a; Jaramillo *et al.*, 2008, citados en Jaramillo (2012), p. 74).

Raison (1984) y de Camino y Budowski (1998) indican que las plantaciones forestales podrían ejercer un efecto en las características de los suelos. El establecimiento de una plantación puede generar problemas relacionados a erosión por preparación del suelo, desarrollo y cuidados de la plantación, cosecha y aprovechamiento final; y durante el crecimiento de la plantación, el exceso de densidad y la falta de luz impide el desarrollo de un sotobosque suficientemente denso, incrementando la escorrentía y la erosión de suelo que conlleva a la pérdida de su fertilidad.

Con base en lo expuesto, se plantea analizar la variabilidad temporal de las características de los suelos en plantaciones forestales mediante un enfoque cualitativo y cuantitativo de los parámetros fisicoquímicos, utilizando como punto de partida los datos recolectados en 2012 por EQUIFOREST. Este análisis busca responder si se producen cambios en los parámetros físicos y químicos de los suelos Andisoles en un periodo de diez años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Este estudio se realizó en 10 fincas forestales con Teca localizadas en el municipio El Viejo, Chinandega, Nicaragua (Figura 1). El clima del área de estudio es caliente sub húmedo según la clasificación de Köppen, con una precipitación media de 1 400 mm al año y una temperatura media de 28 °C (Instituto Nacional de Estudios Territoriales [INETER], s. f.).

Muestreo. Se tomo como punto de partida, una base de datos del año 2012, de 56 calicatas muestreadas por EQUIFOREST en plantaciones de Teca con al menos dos años de haber sido establecidas en fincas forestales en el municipio de El Viejo, departamento de Chinandega. Se seleccionaron de manera aleatoria 10 calicatas para ser analizadas en el

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

año 2023. Las calicatas fueron descritas detalladamente y clasificadas a nivel de subgrupo taxonómico mediante la guía para la descripción de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006) y la clave para la taxonomía de suelos del Soil Survey Staff (2022). En cada calicata, se tomó una muestra de aproximadamente un kilogramo de suelo del primer horizonte, que fueron enviadas al Laboratorio Químico, S.A. (LAQUISA), laboratorio en el que también se efectuaron los análisis fisicoquímico de las muestras del 2012.

Análisis. Los parámetros fisicoquímicos de los suelos fueron analizados mediante una valoración cualitativa-cuantitativa. Se utilizó el programa estadístico R para determinar la existencia de diferencias en los parámetros entre los años 2012 y 2023 mediante la prueba paramétrica t-Student para dos muestras dependientes. Además, se calculó el intervalo de confianza al 95% de la diferencia de las medias para evaluar la magnitud de los cambios observados. Las muestras que no cumplieron el supuesto de normalidad, pese a su transformación mediante estandarización, fueron sometidas a la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras dependientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Taxonomía de los suelos. Los suelos del área en estudio son Andisoles, caracterizados por desarrollarse sobre materiales piroclásticos depositados por erupciones volcánicas cuya principal característica es la variedad de material parental debido a la naturaleza de los materiales expulsados en las erupciones. El origen de estos suelos se debe al rápido enfriamiento de los materiales expulsados, que no permite la cristalización de los minerales con un alto grado de ordenación, resultando así un material vítreo o vidrio volcánico amorfo (Moreno Ramón *et al.*, s.f.). Estos suelos presentan un epipedón ándico con alto contenido de materia orgánica (2.10 % - 8.57 %) y pH de ligeramente ácido a neutro (6.45 - 7.05).

En la Figura 2 se presenta la proporción de suelos según subgrupo taxonómico, se puede observar que los cuatro subgrupos taxonómicos corresponden a Alfíc haplustands, Humic haplustands, Lithic haplustands y Typic haplustands. En la Figura 3 se muestra un registro fotográfico del año 2012 y 2023 de las calicatas seleccionadas para este estudio.

Parámetros fisicoquímicos. Los parámetros medidos en 2012 y 2023 (Cuadro 2) presentan altos coeficientes de variación, a excepción del potencial de hidrogeno (pH), cuyo coeficiente de variación fue el más bajo en los dos momentos de muestreo (3.21 % en 2012; y 2.65 % en 2023). En cambio, el fósforo (P), mostró alta variabilidad especialmente en 2023 (97.59 %). El pH tiende a ser más estable que otros parámetros como nutrientes o metales, puesto que este no varía drásticamente por el manejo del suelo o fertilización.

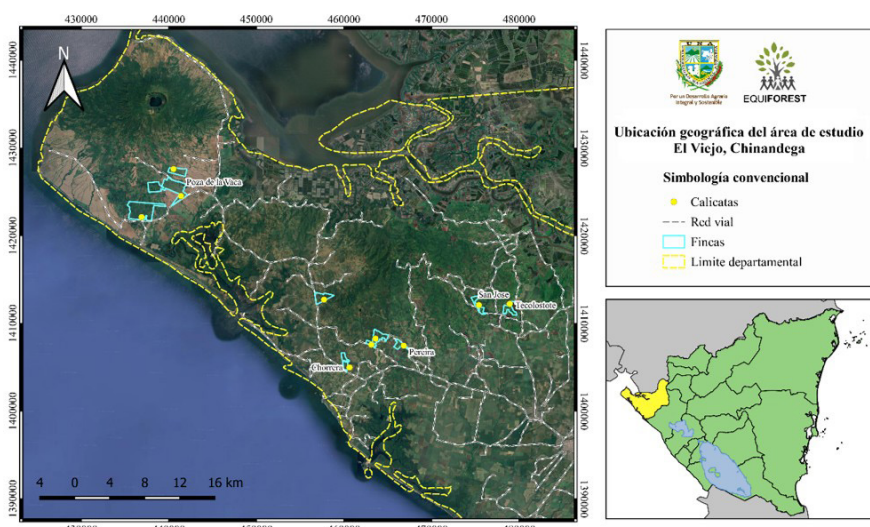


Figura 1. Ubicación del área de estudio, fincas localizadas en el municipio de El Viejo, Chinandega.

Variables evaluadas. Las variables analizadas corresponden a parámetros físicos y químicos de los suelos (Cuadro 1), junto con la unidad de medida, y el método analítico utilizados por el Laboratorio LAQUISA.

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos del suelo

Parámetros	Método analítico	Unidad
pH	NTC 5264:2018	-
Materia orgánica (MO)	NOM-021-RECNAT-2000/AS-07	%
Nitrógeno (N)	Calculado según materia orgánica	%
Fósforo (P)	NTC 5350	mg kg ⁻¹
Potasio (K)	NTC 5349: 2008	Cmol ⁺ kg ⁻¹
Calcio (Ca)	NTC 5349: 2008	Cmol ⁺ kg ⁻¹
Magnesio (Mg)	NTC 5349: 2008	Cmol ⁺ kg ⁻¹
Hierro (Fe)	NTC 5526	mg kg ⁻¹
Cobre (Cu)	NTC 5526	mg kg ⁻¹
Zinc (Zn)	NTC 5526	mg kg ⁻¹
Manganeso (Mn)	NTC 5526	mg kg ⁻¹
Boro (Bo)	NTC 5526	mg kg ⁻¹
Azufre (S)	NTC 5402- 2006	mg kg ⁻¹
Densidad aparente (Da)	ASTM D 7263-09 (Modificado)	g ml ⁻¹
Arcilla	NTC 6299: 2018	%
Limo	NTC 6299: 2018	%
Arena	NTC 6299: 2018	%

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

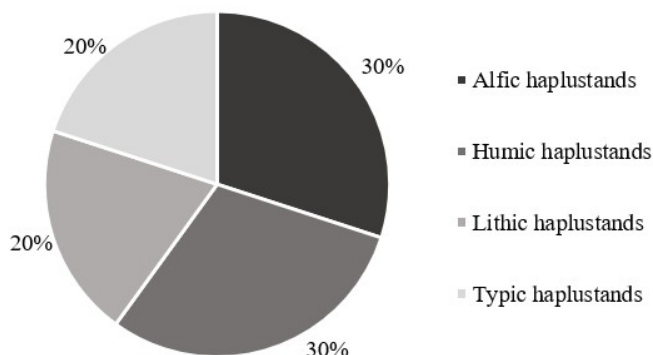


Figura 2. Subgrupos taxonómicos de los suelos de las 10 fincas.



Figura 3. Perfiles de suelo según subgrupos taxonómicos.

El pH osciló entre 6.20 a 7.05 pasando de ligeramente ácido a neutro. La diferencia fue estadísticamente significativa ($p < 0.011$), lo que expresa una reducción de la acidez del suelo, manteniéndose en un rango óptimo para Teca. Según Fallas-Zuñiga (2014), la teca prospera bien en suelos con un pH entre 6.50 y 7.50. La acidez del suelo afecta de manera negativa el crecimiento y productividad de la Teca, lo que no ocurre en estas plantaciones debido al valor cercano a la neutralidad. El aumento del pH del suelo puede atribuirse al origen volcánico de los suelos, puesto que la meteorización de materiales ricos en bases puede contribuir a mantener un pH más neutro.

La materia orgánica es una fuente importante de nitrógeno (N) por lo que es razonable esperar que, si esta incrementa, también incrementa el nitrógeno y mejora la capacidad del suelo para retener nutrientes y humedad. La materia orgánica (MO) presentó un incremento muy significativo ($p < 0.001^{**}$). Esto podría estar asociado a procesos de intercambio iónico lento pese a las condiciones de baja humedad y alta evapotranspiración característico de la zona, asociado al valor del pH.

Mórtola y Heredia (2015) indican que el contenido de carbono orgánico total, el que está asociado al porcentaje de MO, es variable en dependencia del manejo que se le brinde al suelo, siendo más alto en suelos donde se mantienen los residuos postcosecha sobre su superficie, tal como ocurre en las plantaciones de Teca en las que se incorporan ramas, hojarasca y troncos producto del raleo o aprovechamiento.

El incremento de materia orgánica conjugado con la reducción de la acidez del suelo favorece el aumento del cobre (Cu), no así su disponibilidad; la cantidad de cobre en el suelo presentó un incremento significativo ($p = 0.006^{*}$). En estas condiciones las arcillas húmicas orgánicas son más estables y forman ligandos con este metal. Por otro lado, la concentración de macronutrientes en el suelo puede variar espacialmente debido a factores climáticos, cambios estacionales, ciclos de descomposición de materia orgánica; así mismo, parámetros edáficos como la textura, estructura y el pH.

En cuanto al contenido de fósforo (P), los suelos presentaron valores

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

máximos de 18.10 mg kg⁻¹ (CV=73.10 %) en 2012 y 30.74 mg kg⁻¹ (CV=97.59 %) en 2023, siendo este el parámetro que presentó mayor variación en ambos años; seguido del potasio (K) con valores máximos de 1.30 Cmol+ kg⁻¹ (CV=74.39 %) en el 2012 y 1.12 Cmol+ kg⁻¹ (CV=71.78 %) en 2023. Sin embargo, ninguno de estos macronutrientes

con intervalos de confianza del 95 % para la diferencia de las medias de Ca, entre -0.36 Cmol+ kg⁻¹ y 2.62 Cmol+ kg⁻¹; y en Mg, de -1.39 Cmol+ kg⁻¹ y -0.02 Cmol+ kg⁻¹.

En cuanto a los microelementos, el hierro (Fe) presenta un descenso significativo ($p=0.004$), con diferencia de medias entre -104.90 y -26.79 mg kg⁻¹. Esto puede estar asociado a

las interacciones con el fósforo, formando complejos que precipitan al Fe. En algunos casos el descenso de Fe causa alcalinización, lo que explica el ligero incremento del pH (Kass, 1998).

El contenido de Manganeseo (Mn) no presenta diferencias notables ($p=0.770$); el zinc (Zn) presenta un ligero incremento y el azufre (S) una ligera disminución; sin embargo, por lo que no

existe diferencia significativa en sus contenidos (Zn: $p=0.227$; S: $p=0.797$).

Con respecto a la textura del suelo, se revelan cambios significativos (Figura 4); la fracción arcilla presenta un incremento ($p=0.002^{**}$); la fracción arena una disminución ($p<0.007^{**}$) y manteniéndose sin variaciones la fracción de limo ($p=0.666$). Esto sugieren un cambio de las clases texturales de los suelos, pasando de texturas areno-franco o franco a texturas franco-arenosas (Figura 4). Los procesos de meteorización es una condición permanente que modifica las clases texturales de los suelos.

Cuadro 2. Resumen de las parámetros físicos y químicos de las diez fincas

Parámetro	2012					2023					Prueba para muestras dependientes		
	$\bar{x}$	s	CV	Mín.	Máx.	$\bar{x}$	s	CV	Mín	Máx	Diferencia de medias	IC (95 %)	Valor p
pH	6.45	0.21	3.21	6.20	6.80	6.76	0.18	2.65	6.45	7.05	0.31	[0.09; 0.53]	0.011*
MO	1.96	1.33	68.13	0.34	4.34	4.13	2.01	48.68	2.10	8.57	2.17	[1.37; 2.98]	<0.001**
N	0.10	0.07	67.68	0.02	0.22	0.21	0.10	48.31	0.11	0.43	0.11	[0.07; 0.15]	<0.001**
P	8.32	6.08	73.10	1.30	18.10	9.15	8.93	97.59	1.67	30.74	0.83	[-0.48; 0.53]	0.920
K	0.57	0.42	74.39	0.10	1.30	0.48	0.35	71.78	0.19	1.12	-0.08	[-0.45; 0.30]	0.652
Ca	11.95	5.34	44.69	2.40	18.30	13.08	4.74	36.26	4.99	18.47	1.13	[-19.35; 64.89]	0.252
Mg	4.27	2.13	49.91	0.40	6.60	3.56	1.88	52.71	0.57	6.49	-0.71	[-13.40; 0.49]	0.065
Fe	139.21	55.59	39.93	30.70	210.60	73.37	13.69	18.66	43.98	90.80	-65.84	[-104.90; -26.79]	0.004**
Cu	8.56	5.44	63.59	0.20	13.80	14.81	7.17	48.38	1.25	24.70	6.25	[1.12; 11.38]	0.006**
Zn	2.98	2.05	68.76	0.80	7.30	3.35	2.00	59.82	0.73	6.92	0.37	[-0.27; 1.01]	0.227
Mn	5.08	2.57	50.63	0.70	7.70	4.93	4.21	85.46	0.31	12.01	-0.15	-	(!)0.770
S	4.50	2.38	52.87	1.50	9.60	4.28	1.87	43.74	1.88	7.45	-0.22	[-2.06; 1.63]	0.797
Arcilla	12.17	8.61	70.76	3.12	26.84	19.70	10.87	55.15	6.10	44.10	7.53	[3.58; 11.48]	0.002**
Limo	23.96	12.16	50.75	1.00	34.72	24.70	7.90	31.98	9.90	33.90	0.74	[-4.91; 6.39]	0.666
Arena	63.88	19.23	30.10	39.16	95.88	55.60	15.69	28.21	34.00	84.00	-8.28	[-13.71; -2.84]	0.007**
Da	1.25	0.10	7.99	1.11	1.49	1.29	0.14	11.13	1.07	1.54	0.03	[-0.05; 0.12]	0.388

$\bar{x}$: Media, s: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación, Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo, (!): Parámetro analizado con la prueba Wilcoxon para muestras pareadas.

mostró diferencias estadísticas entre los dos periodos analizados (P: $p=0.920$; K: $p=0.652$).

Los valores de coeficientes de variación indican que los datos están altamente dispersos en relación con sus medias, lo que sugiere una gran heterogeneidad espacial en la distribución de estos nutrientes. Esta variabilidad puede estar relacionada con la influencia del vulcanismo en la región, ya que los suelos derivados de cenizas volcánicas suelen presentar acumulaciones superficiales de fósforo inorgánico, principalmente en forma de fosfatos de hierro, aluminio o calcio, cuya disponibilidad puede variar considerablemente según las condiciones fisicoquímicas del suelo.

Por los valores de pH y las altas concentraciones de fósforo se pueden formar compuestos insolubles de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (Kass, 1998), sin embargo, las concentraciones de Ca y Mg no presentaron diferencias significativas (Ca: $p=0.252$; Mg: 0.065)

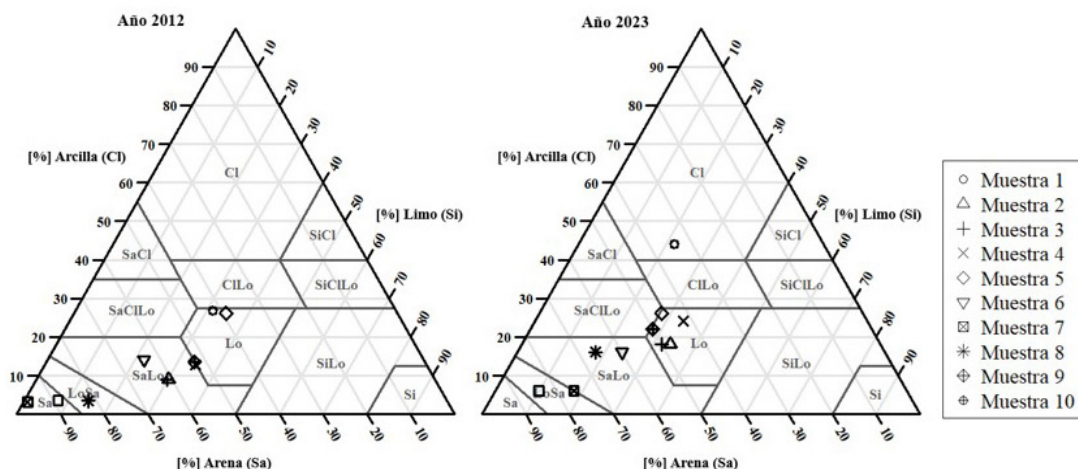


Figura 4. Clases texturales en 2012 y 2023. Cl: Arcilla; Si: Limo; Sa: Arena; Lo: Franco.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

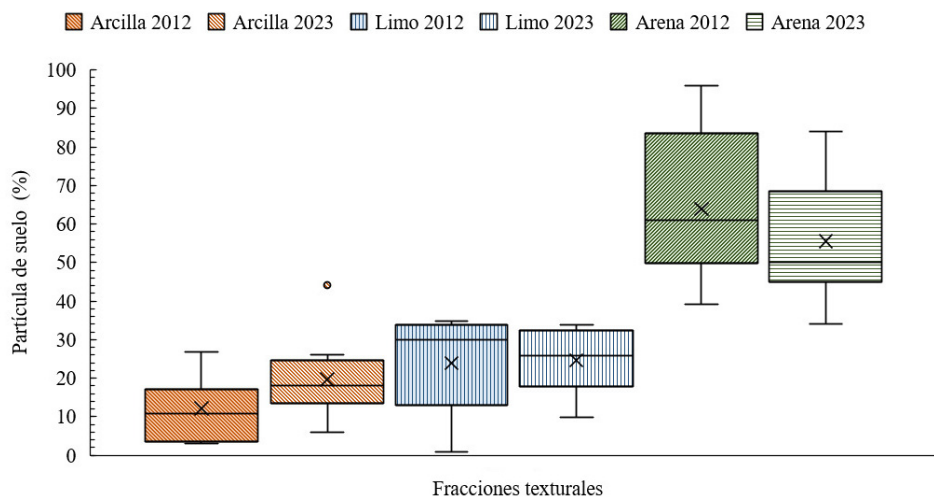


Figura 5. Proporción textural del suelo 2012 y 2023

Estos cambios texturales no solo reflejan procesos naturales como la meteorización, sino que también tienen implicaciones prácticas en la dinámica del suelo. Un aumento en la fracción arcilla puede mejorar la retención de nutrientes, pero también puede afectar negativamente la aireación y el drenaje. Además, la evolución hacia texturas más finas podría estar influenciada por procesos de erosión o sedimentación, lo que sugiere la necesidad de estrategias de manejo diferenciadas según la clase textural predominante.

La densidad aparente (D_a) está influenciada por el contenido de las diferentes fracciones orgánicas (materia orgánica) y minerales del suelo (Gallardo y González, 1983; Gallardo y Prause, 2000). Aunque hubo cambios en la textura del suelo (más arcilla, menos arena), estos no fueron suficientes para modificar de manera significativa la D_a ($p=0.388$).

CONCLUSIONES

Los suelos Andisoles presentan características químicas que marcan su formación debido a las altas concentraciones de P (rocas fosfatadas) y pH ligeramente ácido a neutro. Los cambios observados en las propiedades fisicoquímicas en estos suelos, entre 2012 y 2023, reflejan una evolución positiva por el manejo con plantaciones de Teca. La ligera neutralización del pH, junto con el incremento en la materia orgánica y el nitrógeno, sugiere una mejora en la capacidad del suelo para sostener procesos biológicos y retener nutrientes.

Aunque algunos elementos como el fósforo y el potasio no mostraron variaciones significativas, la estabilidad de estos nutrientes, junto con el aumento de otros como el cobre, indica un entorno químicamente más equilibrado.

La modificación en la textura del suelo, con mayor proporción de arcilla y menor contenido de arena, también indica una mejora en la estructura y capacidad de retención de agua. En este sentido, se reafirma la importancia de prácticas sostenibles como la incorporación de residuos postcosecha y el monitoreo continuo de las propiedades del suelo, como herramientas clave para mantener y potenciar la productividad forestal a largo plazo gracias al buen manejo del suelo.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a EQUIFOREST por hacer posible esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A. (2006). *Nutrición y fertilización de la Teca*. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/\\$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20Fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20Teca.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20Fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20Teca.pdf)
- de Camino, R. y Budowski, G. (1998). Impactos ambientales de las plantaciones forestales y medidas correctivas de carácter silvicultural. *Revista Forestal Centroamericana*, 7(22), 6-12. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6368>
- Fallas-Zúñiga, J. L. (2014). *Respuesta a la fertilización de la teca (Tectona grandis L.f) con NPK en ultisoles de la zona norte de Costa Rica* [Tesis de Ingeniería, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. RepositorioTEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3286>
- Gallardo, J. F. y González Hernández, M. I. M. (1983). *Suelos Forestales De El Rebollar (salamanca): Y III. Nuevas aportaciones*. CSIC - Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca (CEBA). <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57323/1/Suelos%20forestales%20de%20el%20rebollar%20%28Salamanca%29.%20y%20III%20Nuevas%20aportaciones.pdf>
- Gallardo Lancho, J. F. y Prause, J. (2000). *Influencia de cuatro especies nativas sobre las parámetros físicas de un suelo forestal del Parque Chaqueño Húmedo (Argentina)*. https://www.academia.edu/21764455/Influencia_de_cuatro_especies_nativas_sobre_las_par%C3%ADmetros_f%C3%ADsicas_de_un_suelo_forestal_del_Parque_Chaque%C3%B1o_H%C3%B3medo_Argentina_

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER). (s. f.). *INETER - Mapa Interactivo Climático (1971-2010)*. <https://www.ineter.gob.ni/geoportales/variabilidadclimatica/index.html>
- Jaramillo J, D. F. (2012). Variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia*, 1(1), 73-87. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/download/49004/50077>
- Jenny, H. (1994). *Factors of Soil Formation: A system of Quantitative Pedology*. Dover Publications. <https://www.soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010159.Jenny.pdf>
- Kass, D. C. L. (1998). *Fertilidad de suelos*. EUNED.
- Moreno Ramón, R., Ibañez Asensio, S. y Gisbert Blanquer, J. M. (s. f.). *Andisoles*. <https://docplayer.es/52849909-Andisoles-moreno-ramon-hector-ibanez-asensio-sara-gisbert-blanquer-juan-manuel.html>
- Mórtola, N. A. y Heredia, O. S. (2015). Comportamiento del Carbono orgánico y las fracciones de fósforo en un Kandiuult con distintos manejos de residuos forestales. *Ciencia del suelo*, 33(1), 89-96. <https://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v33n1/v33n1a09.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2006). *Guía para la descripción de suelo*. <https://www.fao.org/documents/card/en?details=0f070cdd-1b6d-53fa-add1-5c972fb299d2/>
- Raison, R. J. (1984). Potential adverse effects of forest operations on the fertility of soils supporting fast-growing plantations. En *Proceedings of the IUFRO Symposium on Site and Productivity of Fast Growing Plantations* (Vol. 1, pp. 457–471). South Africa.
- Siqueira, G. M., Rosa Vieira, S., Souza, Z. M., Dafonte, J. y Paz, A. (2007). Utilización de herramientas estadísticas y geoestadísticas para optimización del muestreo de parámetros físicos del suelo. En *Estudios de la zona no saturada del suelo*. VIII Jornadas de Investigación de la Zona No Saturada del Suelo, Córdoba, España. https://zonanosaturada.com/zns07/publications_files/area_2/16.pdf
- Tanaka, N., Hamazaki, T., & Vacharangkura, T. (1998). Distribution, Growth and Site Requirements of Teak. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 32, 65-77.